



**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

VŠB -Technical University of Ostrava



**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie**

Faculty of Mechanical Engineering

Department of Machining and Assembly

## **Optimalizace výroby kulového kloubu přední nápravy autobusů SOR**

Optimization of the Production of the Ball Joint on the Front Axle of Buses SOR.

Student:

Bc. Radek Stejskal

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Stejskal**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**

Specializace: **20 Strojírenská technologie**

Téma: **Optimalizace výroby kulového kloubu přední nápravy autobusů SOR**  
**Optimization of the Production of the Ball Joint on the Front Axle of Buses SOR.**

Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika technologického prostředí.
2. Zhodnocení stávajícího stavu technologie výroby kulového kloubu.
3. Návrh, zpracování a optimalizace nového technologického řešení.
4. Technicko ekonomické porovnání.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VASILKO, Karol; NOVÁK-MARCINČEN, Jozef; HAVRILA, Michal. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [2] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Jozef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007, 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Jozef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábání, I. část - Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006, 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábání, II. část - Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrá, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5. 2016



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5. 2016



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Radek Stejskal

Adresa trvalého pobytu autora práce: Orlice 278, 561 51 Letohrad

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Diplomová práce se zabývá optimalizací výroby kulového kloubu přední nápravy autobusů SOR. Cílem diplomové práce je navrhnout nová řešení v oblasti technologie výroby kulového kloubu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Kulový kloub, třískové řezání, přední náprava, optimalizace.

## **ANNOTATION OF MASTER'S THESIS**

This diploma thesis deals with optimisation of ball joints production for front axles on SOR buses. The target of this diploma work is to suggest a new technological solution for ball joints production.

## **KEYWORDS**

Ball joint, machining, front axle assembly, optimising.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

STEJSKAL, R. *Optimalizace výroby kulového kloubu přední nápravy autobusů SOR: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2016. s. 62. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Josef Brychta

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu prof. Dr. Ing. Josefu Brychtovi za ochotu a cenné konzultace v průběhu vytváření diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat za vstřícnou spolupráci vedoucímu technologovi SOR Libchavy spol. s r.o. kterým je pan Ing. Martin Drábek.

Na závěr bych rád poděkoval rodině a přítelkyni za podporu a trpělivost během celého studia.

## OBSAH

1. ÚVOD .....	10
1.1 Představení společnosti SOR Libchavy spol. s r.o. ....	10
1.2 Produkty společnosti SOR Libchavy spol. s r.o. ....	11
1.2.1 Městské autobusy .....	11
1.2.2 Meziměstské autobusy .....	12
1.2.3 Turistické autobusy .....	13
1.2.4 Trolejbusy .....	14
1.2.5 Elektrobusy .....	15
1.3 Přední náprava .....	16
1.3.1 Přední náprava SOR C004 .....	16
1.3.2 Přední náprava SOR BN004 .....	17
1.4 Představení řešených součástí .....	19
1.4.1 Kulový čep .....	19
1.4.2 Miska řízení .....	20
1.4.2.1 Pánev horní .....	20
1.4.2.2 Pánev dolní .....	20
2. Teoretická část .....	21
2.1 Obrábění .....	21
2.1.1 Soustružení .....	21
2.1.1.1 Řezné podmínky .....	23
2.1.2 Frézování .....	23
2.1.3 Materiály rezných nástrojů .....	24
2.1.3.1 Vyměnitelné břitové destičky .....	25
2.2 Tváření .....	26
2.2.1 Vstřikování plastů .....	26
2.2.2 Zápusťkové kování .....	28
2.3 Dokončovací metody .....	30
2.3.1 Leštění .....	30
2.3.2 Válečkování .....	30
2.4 Povrchové úpravy .....	32

2.4.1 Chromování.....	32
2.4.2 Technologie ARCOR .....	33
3. Charakteristika technologického prostředí. ....	35
3.1 Strojní vybavení .....	35
3.2 Softwarové vybavení.....	36
4. Zhodnocení stávajícího stavu technologie výroby kulového kloubu. ....	37
4.1 Technologie výroby kulového čepu .....	37
4.1.1 Materiál kulového čepu .....	38
4.1.2 Výroba polotovaru kulového čepu .....	38
4.1.2.1 Představení společnosti peform Chrudim s.r.o.....	39
4.1.3 Výroba kulového čepu.....	40
4.1.3.1 CNC soustruh Hwacheon Hi Tech 300 Fanuc .....	43
4.2. Technologie výroby horní a dolní pánve.....	44
4.2.1 Materiál horní a dolní pánve .....	44
4.2.2 Výroba horní a dolní pánve .....	44
4.2.2.1 Představení společnosti Wolko-plast, s.r.o.....	45
4.3 Zhodnocení aktuálního stavu .....	46
4.3.1 Zhodnocení výroby kulového čepu.....	46
4.3.2 Zhodnocení výroby horní a dolní pánve .....	46
5. Návrh, zpracování a optimalizace nového technologického řešení. ....	47
5.1 Návrhy nových technologických řešení pro kulový čep.....	47
5.1.1 Varianta A.....	47
5.1.2 Varianta B.....	49
5.1.3 Varianta C.....	50
5.1.3.1 Baublies - Diamantový nástroj pro opracování povrchů .....	50
5.1.4 Varianta D.....	51
5.1.5 Varianta E.....	52
5.1.6 Varianta F .....	53
5.2 Návrhy nových technologických řešení pro dolní a horní pánev .....	54
5.2.1 Varianta A.....	54
5.2.2 Varianta B.....	54
6. Technicko-ekonomické porovnání. ....	56



6.1 Shrnutí navržených variant .....	56
6.2 Měření sil řízení .....	57
7. Závěr.....	58
POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE.....	59
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	61
SEZNAM PŘÍLOH.....	62

# 1. ÚVOD

V diplomové práci se zabývám problematikou výroby kulového kloubu autobusů značky SOR. V úvodní části Vás seznámím s významným českým výrobcem autobusů, SOR Libchavy spol. s r.o., včetně jeho produktových řad. V následující kapitole představuji přední nezávislé nápravy SOR, ve kterých se nacházejí hlavní řešené díly této práce, kterými jsou kulový čep aisky řízení. V teoretické části popisuji technologie, které jsou při výrobě řešených dílů využívány. Technologické prostředí, aktuální stav výroby a návrhy řešení jsem zařadil do praktického úseku. Na závěr práce vyhodnocuji navržená řešení a zamýšlím se nad vizemi dalších zlepšení.

## 1.1 Představení společnosti SOR Libchavy spol. s r.o.

Firma SOR Libchavy spol. s r.o. je významný český výrobce autobusů, který nabízí moderní typy autobusů a trolejbusů dle modelových řad i nestandardní provedení na přání klientů. V současné době vyrábí autobusy v délce 8,5m, 9,5m, 10,5m, 12 m, 12,5m a 18m v provedení pro městský, meziměstský a dálkový provoz. Autobusy jsou vybaveny motorem, který odpovídá požadavkům ekologických norem Evropské unie. Zákazník si může mimo klasického pohonu zvolit pohon na stlačený zemní plyn – CNG nebo elektro pohon. K dispozici je automatická i mechanická převodovka, nezávislé nápravy, retardér, kotoučové brzdy, klimatizace a další výbava. Společnost zaznamenává obchodní úspěchy na domácím i zahraničním trhu. Dále zajišťuje servis, opravy a prodej náhradních dílů pro autobusy značky SOR. [1]

SOR Libchavy spol. s r.o. je součástí holdingu EP INDUSTRIES, který patří mezi nejvýznamnější průmyslová uskupení v České republice. Zahrnuje celou řadu podniků, které působí v segmentech energetického strojírenství, dopravní infrastruktury a automobilového průmyslu. [2]

Firma SOR Libchavy spol. s r. o. nacházející se v blízkosti města Ústí nad Orlicí, je firmou s tradicí strojírenské výroby. Do roku 1990 zde probíhala výroba zemědělské techniky - krmné vozy, obraceče píce, vybírače siláže, horské malotraktory a řada dalších strojů. V roce 1991 privatizací s přímým prodejem došlo ke změně orientace výrobního programu směrem k dopravní a stavební technice. Na pozadí této produkce probíhal vývoj autobusů a zahájením jejich výroby v roce 1995 se začaly psát dějiny nové automobilky v České republice. [1]

## 1.2 Produkty společnosti SOR Libchavy spol. s r.o.

### 1.2.1 Městské autobusy

Městské nízkopodlažní autobusy jsou určeny pro hromadnou přepravu osob na krátké vzdálenosti v městském provozu. Tomu odpovídá rozmístění sedadel s prostorem pro dětský kočárek nebo invalidní vozík. Celkové kapacity jsou od 70 do 151 přepravovaných osob. Městské autobusy jsou vyráběny v délce 9600, 10750, 11790, 12180 a 18750 mm. Autobus může být vybaven mechanickou nebo automatickou převodovkou a retardérem. Motory splňují emisní normou EURO VI.

Moderní a ekologické autobusy prezentuje v této kategorii typ SOR NBG. [1]

Tab. 1 Městské autobusy

Městské autobusy	Rozměry [mm]			Obsaditelnost		Přední náprava
Model	Délka	Šířka	Výška	K sezení*	Celková*	Typ
SOR BN 9,5	9600	2525	2950	23-28	74-76	SOR BN 004
SOR BN 10,5	10750	2525	2950	29-32	85-87	SOR BN 004
SOR BN 12	11790	2525	2950	27-40	82-93	SOR BN 004
SOR NB 12 City	12180	2550	3110	25-34	93-103	SOR BN 004
SOR NB 18 City	18750	2550	3110	41-57	141-151	SOR BN 004
SOR BNG 12	11790	2550	3180	27-30	70-73	SOR BN 004
SOR NBG 12	12180	2550	3330	25-34	83-88	SOR BN 004
SOR NBG 18	18750	2550	3330	44	134	SOR BN 004



Obr. 1 Městský nízkopodlažní autobus SOR NB 18 CITY [1]

## 1.2.2 Meziměstské autobusy

Meziměstské autobusy jsou určeny pro hromadnou přepravu osob na kratší vzdálenosti v linkovém provozu. Tomu odpovídá rozmístění sedadel s prostorem pro dětský kočárek nebo invalidní vozík pro přepravu tělesně postižených osob. Celkové kapacity jsou od 56 do 100 přepravovaných osob. Meziměstské autobusy jsou vyráběny v délce 8400, 9600, 9630, 10750, 10780, 11790 a 11820 mm.

Moderní, ekologický, částečně nízkopodlažní autobus s pohonem na CNG je model SOR CNG 12. Nové technologie, vysoká kvalita, spolehlivost a ojedinělá konstrukční řešení jsou zárukou hospodárného provozu. [1]

Tab. 2 Meziměstské autobusy

Meziměstské autobusy	Rozměry [mm]			Obsaditelnost		Přední náprava
	Délka	Šířka	Výška	K sezení*	Celková*	Typ
SOR C 9,5	9630	2525	3095	27-38	60-68	SOR C 004
SOR C 10,5	10780	2525	3095	27-43	69-77	SOR C 004
SOR C 12	11820	2525	3095	29-51	77-84	SOR C 004
SOR CN 8,5	8400	2525	2950	24-25	56-57	SOR BN 004
SOR CN 9,5	9600	2525	2950	29	66-68	SOR BN 004
SOR CN 10,5	10750	2525	2950	31-35	72-77	SOR BN 004
SOR CN 12	11790	2525	2950	33-41	77-80	SOR BN 004
SOR CG 12	11820	2525	2950	48-50	100	SOR C 004
SOR CNG 12	11790	2525	2950	41	83	SOR BN 004



Obr. 2 Meziměstský částečně nízkopodlažní autobus SOR CNG 12 [1]

### 1.2.3 Turistické autobusy

Turistické autobusy jsou určeny pro hromadnou přepravu osob na velké vzdálenosti v turistickém provozu. Má zvýšenou podlahu a velké zavazadlové prostory. Celkové kapacity jsou od 52 do 62 přepravovaných osob. Turistické autobusy jsou vyráběny v délce 9630, 10780 a 11820 mm. Na přání může být provedena montáž tónovaných skel, dvojité zasklení, klimatizace, video přehrávače, DVD, LCD monitoru, kávovaru, chladničky nebo sedadla spolujezdce.

Největším turistickým autobusem je model SOR LH 12 o délce 11820 mm. Tomu odpovídá rozmístění sedadel pro 51 osob včetně řidiče. Autobus je vybaven dálkovými sedačkami. Má mechanickou převodovku ZF s retardérem VOITH. Autobus pohání motor značky IVECO Tector NEF o výkonu 220 kW. Emisní norma je EURO VI.

Tab. 3 Turistické autobusy

Turistické autobusy	Rozměry [mm]			Obsaditelnost		Přední náprava
	Délka	Šířka	Výška	K sezení*	Celková*	Typ
SOR LH 9,5	9630	2525	3275	34-35	53-55	SOR C 004
SOR LH 10,5	10780	2525	3275	42-45	52-56	SOR C 004
SOR LH 12	11820	2525	3275	46-51	59-62	SOR C 004



Obr. 3 Turistický autobus SOR LH 12 [1]



### 1.2.4 Trolejbusy

Městské nízkopodlažní trolejbusy jsou určeny pro hromadnou přepravu osob na kratší vzdálenosti v městském provozu. Tomu odpovídá rozmístění sedadel s prostorem pro dětský kočárek nebo invalidní vozík. Celkové kapacity jsou od 95 do 161 přepravovaných osob. Trolejbusy jsou vyráběny v délce 12180 a 18750 mm. Karoserie trolejbusu jsou unifikovány s městskými autobusy SOR NB 12 a SOR NB 18. Trolejbusy jsou vybaveny elektrovýzbrojí firmy Škoda Electric a. s.

Zástupce kloubového trolejbusu je model SOR TNB 18, který je odvozený od plně nízkopodlažního autobusu NB 18, tzn. řízení, kloubové spojení, nápravy jsou shodné s tímto autobusem. TNB 18 Škoda Elektrovýzbroj je unifikována s TNB12 Škoda, tedy kompresor, chlazení motoru, vozidlové baterie, sběrač, sušič vzduchu Haldex a další jsou shodné s TNB12 Škoda.

Tab. 4 Trolejbusy

Trolejbusy	Rozměry [mm]			Obsaditelnost		Přední náprava
	Délka	Šířka	Výška	K sezení*	Celková	Typ
SOR TNB 12	12180	2550	3400	28-32	95	SOR BN 004
SOR TNB 18	18750	2550	3400	46	161	SOR BN 004



Obr. 4 Trolejbus SOR TNB 18 [1]

### 1.2.5 Elektrobusy

Městské nízkopodlažní elektrobusy jsou určeny pro hromadnou přepravu osob na krátké vzdálenosti v městském provozu. Karoserie elektrobusů vycházejí z městského autobusu SOR BN, zkrácen byl zadní převis, nízkopodlažní část zůstala bez změny. Celkové kapacity jsou od 50 do 92 přepravovaných osob. Elektrobusy jsou vyráběny v délce 8000, 9790 a 11100 mm. Pro pohon elektrobusů SOR byl vyvinut zcela nový šestipólový elektromotor TAM 1049 Pragoimex o jmenovitém výkonu 120 kW. Elektromotor je chlazený vodou.

SOR EBN 8 je moderní nízkopodlažní elektrobus určený pro bezemisní přepravu osob v městském i meziměstském provozu. Svými užitnými vlastnostmi je vhodný také pro přepravu osob v turistických oblastech, chráněných národních parcích či horských střediscích.

Tab. 5 Elektrobusy

Elektrobusy	Rozměry [mm]			Obsaditelnost		Přední náprava
	Délka	Šířka	Výška	K sezení*	Celková	Typ
SOR EBN 8	8000	2525	2920	16	50	SOR BN 004
SOR EBN 9,5	9790	2525	2920	26	69	SOR BN 004
SOR EBN 11	11100	2525	2920	29	92	SOR BN 004



Obr. 5 Elektrobus SOR EBN 8 [1]

## 1.3 Přední náprava

V portfoliu vyráběných autobusů značky SOR nacházíme dvě konstrukční řešení přední nápravy. Jedná se o přední nezávislé lichoběžníkové nápravy vlastní konstrukce. V této kapitole jsou představeny pod obchodními názvy SOR C004 a SOR BN004.

### 1.3.1 Přední náprava SOR C004

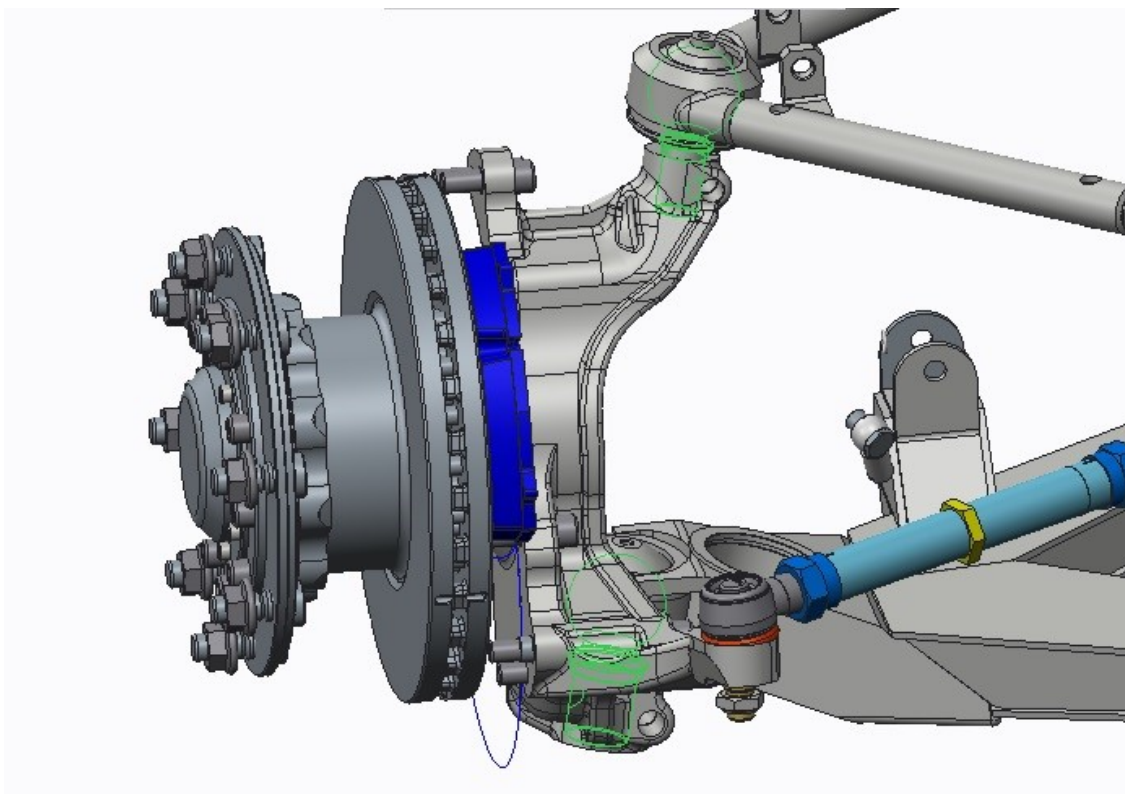
První představenou přední nápravou je typ SOR C004. Jedná se o přední nezávislou lichoběžníkovou nápravu pro standardní autobusy. Uplatnění nachází pro meziměstské a turistické autobusy. Tímto konstrukčním řešením dosáhneme navýšení přední části autobusu, která nám umožní svislé uložení servořízení (posilovač řízení) a také velký zavazadlový prostor na bocích autobusu.

Jedná se o původní tedy první přední nezávislou lichoběžníkovou nápravu v historii autobusů SOR. Z důvodu nových požadavků zejména na autobusy městské hromadné dopravy byla vyvinuta přední náprava SOR BN004. Tato náprava svým konstrukčním řešením umožní snížit výšku podvozku oproti typu SOR C004. Díky snížení podvozku je zajištěn bezbariérový vstup a výstup pro osoby na invalidním vozíku nebo s kočárky. V kombinaci sníženého podvozku a zvýšeného počtu dveří ze dvou na tři dosáhneme zkrácení času při nástupu a výstupu cestujících.



*Obr. 6 Sestava přední nápravy SOR C004, kulové čepy jsou zvýrazněny zeleně [1]*





*Obr. 7 Detail sestavy přední nápravy SOR C004, kulové čepy jsou zvýrazněny zeleně [1]*

### **1.3.2 Přední náprava SOR BN004**

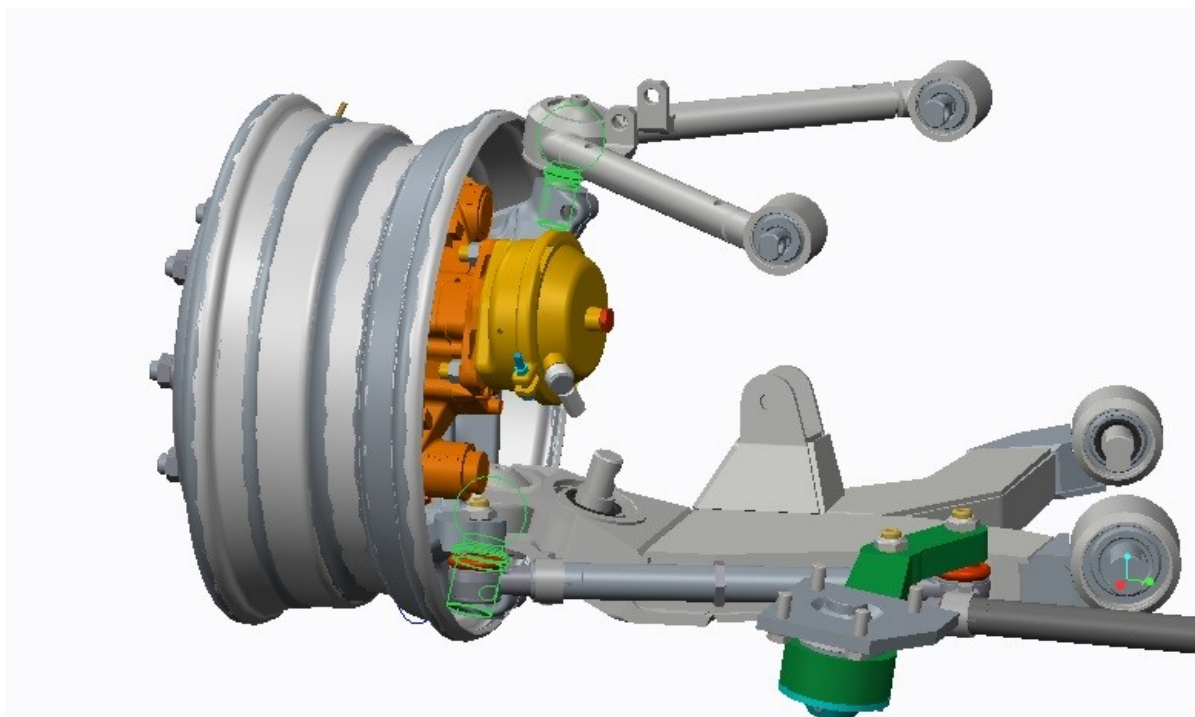
Druhou představenou přední nápravou je typ SOR BN004. Jedná se o přední nezávislou lichoběžníkovou nápravu pro nízkopodlažní (low entry) autobus. Uplatnění nachází pro městské autobusy, trolejbusy a elektrobusy.

Konstrukční řešení se oproti typu SOR C004 zásadně liší v oblastech řízení a spodních ramen nápravy. Tato náprava umožňuje dosáhnout požadavků na nízkopodlažní autobus. V oblasti interiéru je prostor pro nová technická řešení, která umožňují pohodlné nastupování i pro cestující s omezenou schopností pohybu.

Na předních nápravách autobusů SOR jsou kola o rozměrech disku 7.5 x 19.5 s pneumatikou 285/70 R 19,5.



*Obr. 8 Sestava přední nápravy SOR BN004, kulové čepy jsou zvýrazněny zeleně [1]*

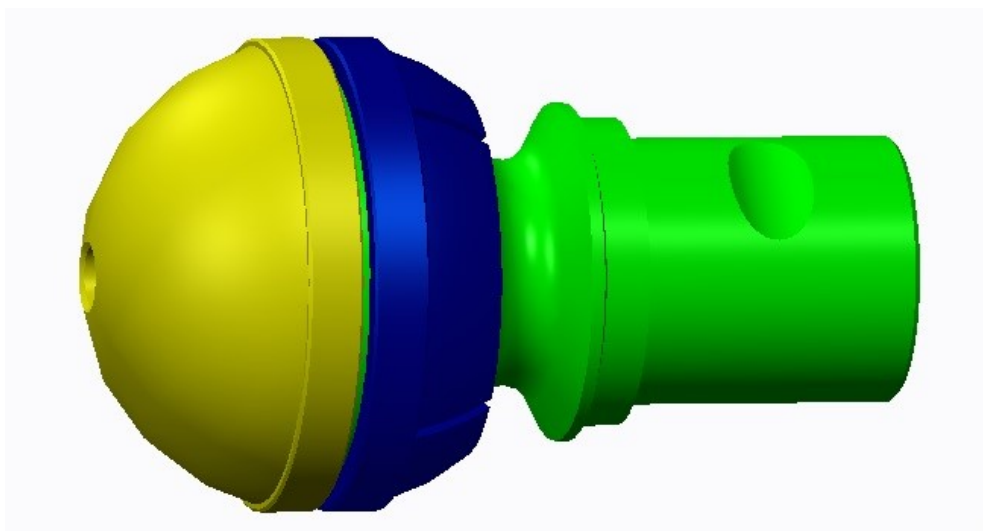


*Obr. 9 Detail sestavy přední nápravy SOR BN004, kulové čepy jsou zvýrazněny zeleně [1]*

I přes výše popsané rozdíly se v sestavách obou typů náprav nacházejí stejné kulové čepy, dolní a horní pánve.

## 1.4 Představení řešených součástí

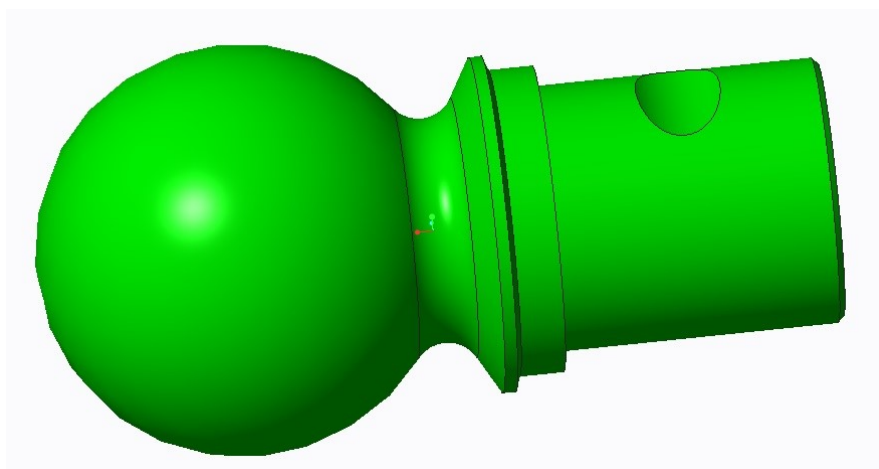
Na obr. 8 jsou znázorněny řešené díly v sestavě. Kulový čep je označen zelenou barvou, pánev horní je zvýrazněna žlutou a pánev dolní modrou barvou. Kulový kloub umožňuje pohyb ve směru pohybu kola, ve směru propružení, tak ve směru zatáčení, dle kinematiky řízení.



Obr. 10 Sestava řešených dílů [1]

### 1.4.1 Kulový čep

Prvním představeným řešeným dílem je kulový čep. V sestavě přední nezávislé nápravy autobusů SOR se nachází v dvojím provedení. Jedná se o dolní kulový čep a horní kulový čep. Materiál je pro obě varianty provedení stejný 51CrV4 (ČSN 15260), jedná o nízkolegovanou, ušlechtilou chromvanadovou ocel.

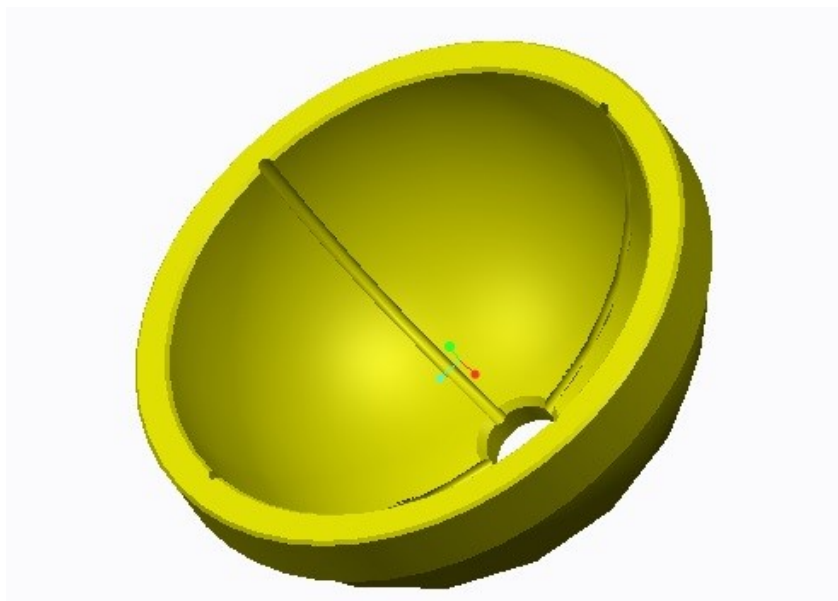


Obr. 11 Kulový čep [1]

### 1.4.2 Miska řízení

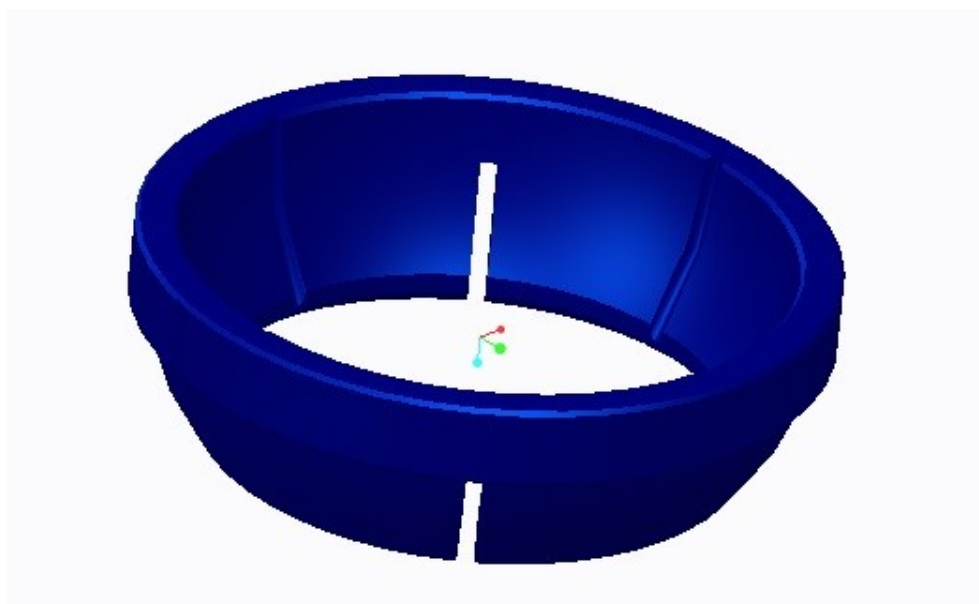
Miska řízení je tvořena horní a dolní pávní. Materiálem obou dílů je Zedex 100K, termoplastický materiál s výbornými kluznými vlastnostmi. Mezi další výhody patří nízká míra opotřebení a dobré tlumení vibrací. Na vnitřních kulových plochách těchto dílů jsou mazací drážky.

#### 1.4.2.1 Pánev horní



Obr. 12 Pánev horní [1]

#### 1.4.2.2 Pánev dolní



Obr. 13 Pánev dolní [1]

## 2. Teoretická část

V této části jsou popsány využívané technologie při výrobě řešených dílů. Svě zástupce zde nacházejí procesy obrábění, tváření, dokončovacích operací a povrchových úprav.

### 2.1 Obrábění

Technologie obrábění je jednou z důležitých částí strojírenské výroby. Uplatnění nachází v širokém spektru od jednoduchých operací až po obrábění matematicky obtížně definovatelných ploch. Obrábění můžeme rozdělit na ruční a strojní.

Mezi základní technologie obrábění s definovanou geometrií břitu patří soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování. Skupinu obrábění s nedefinovanou geometrií břitu tvoří technologie broušení, honování, lapování aj. Nejmodernější kategorií jsou nekonvenční metody, jedná se o obrábění elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem aj. Při dodržení správných technologických postupů je výsledkem obrábění požadovaný tvar s rozměrovou přesností a jakostí povrchu.

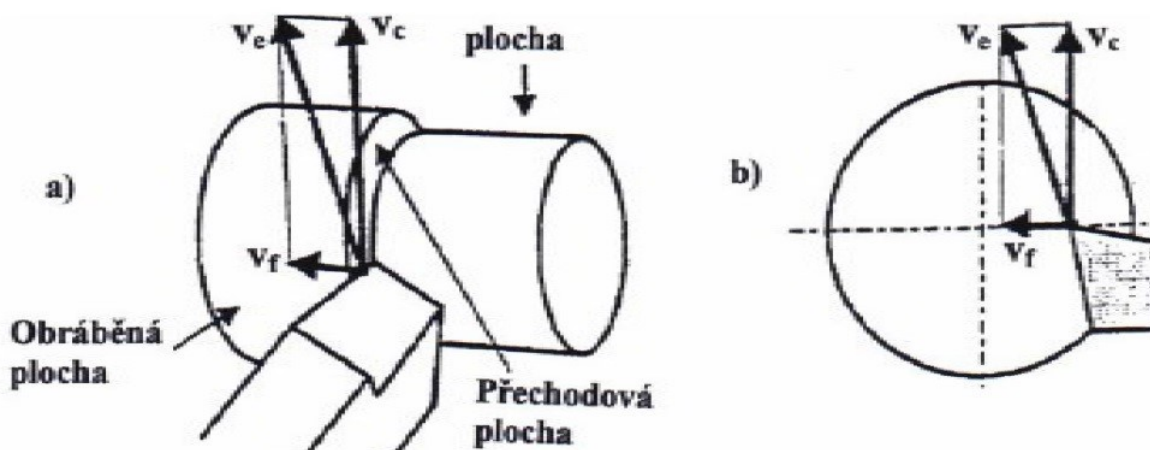
#### 2.1.1 Soustružení

Soustružení je metoda obrábění pro výrobu součástí převážně rotačních tvarů, zejména pomocí jednobřitých nástrojů různého provedení – soustružnických nožů. Je to nejjednodušší způsob obrábění, ale zároveň v současnosti (na klasických strojích) nejpoužívanější (proto se provádí 30 – 40 % operací obrábění na soustruzích). Obrábění na soustruzích s ručním nebo automatickým ovládáním nám umožňuje soustružit polotovary od hmotnosti několika mg až do několika tun.

Při soustružení dochází k odřezávání přebytečné vrstvy (přídavku na obrábění) řeznou částí nástroje s definovanou geometrií. Odřezávaná vrstva odchází od obrobku v podobě třísky. Aby došlo k oddělení třísky od polotovaru, musí mít činná část nástroje klínový břit, který je tvrdší než obráběný materiál. Obrobený povrch získává postupně požadovaný tvar, rozměr, drsnost i některé mechanické vlastnosti. Je nezbytné dodržovat určité podmínky (např. řezná část nástroje musí mít vhodnou řeznou geometrii). [10]

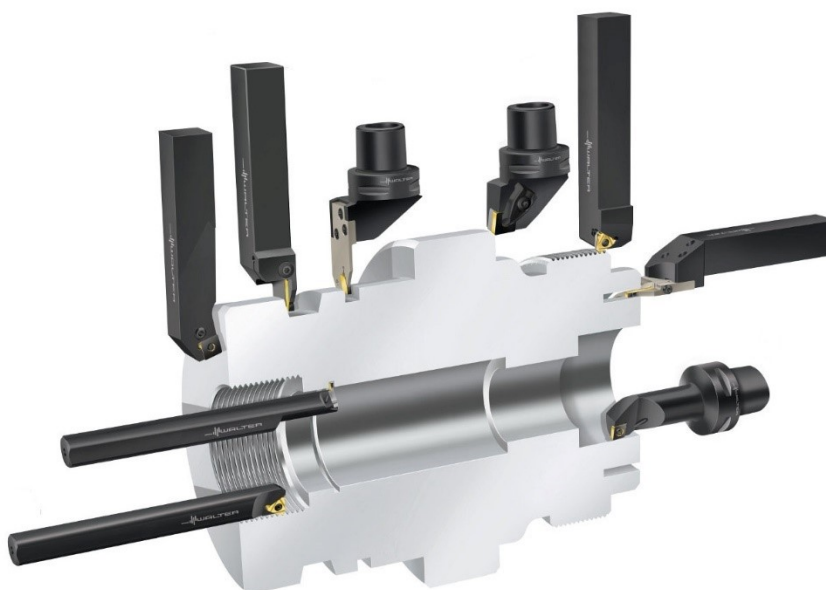
Hlavní řezný pohyb ( $v_c$ ) je rotační a koná ho obrobek. Tento pohyb je potřebný k tomu, aby prostřednictvím nože došlo k odříznutí třísky z povrchu obrobku. Posuvový pohyb ( $v_f$ ) je vedlejší, přímočarý a vykonává ho nástroj. Tento pohyb je nutný k tomu, aby nůž postupně odřezával třísky v požadované délce obrobku.

Posouvá-li se nůž ve směru osy rotace obrobku, pak jde o podélné soustružení a výsledný řezný pohyb ( $v_e$ ) má tvar šroubovice, posouvá-li se ve směru kolmém k ose rotace, je to přímé (čelní) soustružení (upichování, zapichování) a výsledný řezný pohyb má tvar Archimedovy spirály. Přířuv je vždy kolmý k posuvu – tedy při podélném soustružení je radiální a při čelním soustružení axiální. [10]



Obr. 14 Druhy soustružení a) podélné soustružení, b) čelní soustružení [10]

Hlavní řezný pohyb ( $v_c$ ) je rotační a koná ho obrobek. Tento pohyb je potřebný k tomu, aby prostřednictvím nože došlo k odříznutí třísky z povrchu obrobku. Posuvový pohyb ( $v_f$ ) je vedlejší, přímočarý a vykonává ho nástroj. Tento pohyb je nutný k tomu, aby nůž postupně odřezával třísky v požadované délce obrobku. [10]



Obr. 15 Nástroje pro soustružení od firmy Walter [15]

### 2.1.1.1 Řezné podmínky

Pod pojmem řezné podmínky je třeba rozumět zejména stanovení řezné rychlosti  $v_c$ , posuvu  $f$  a tloušťky obráběné vrstvy (hloubky řezu)  $a_p$ . Řezná rychlost je v podstatě rychlost hlavního řezného pohybu a definujeme ji jako obvodovou rychlost měřenou na obráběné ploše. Pro různé druhy materiálů nástrojů a obrobků se používá i různých řezných rychlostí. Pro různé materiály obrobků jsou v rozsahu od 5 m.min<sup>-1</sup> do 1000 m.min<sup>-1</sup>. Obvodovou řeznou rychlost obrobku v místě soustružení lze určit ze vztahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ kde}$$

$D$  – průměr obráběné plochy [mm],

$n$  – počet otáček vřetene [min<sup>-1</sup>].

Jednotka řezné rychlosti: m.min<sup>-1</sup>

Posuv je dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku obrobku. Při hrubování je jeho hodnota 0,4 až 5 mm, při dokončovacích operacích 0,06 až 0,3 mm a při jemném soustružení 0,005 až 0,05 mm. Protože se při soustružení nástroj posune při jedné otáčce o hodnotu posuvu, je možné stanovit rychlost posuvu v závislosti na otáčkách vřetene:

$$v_f = n \cdot f = \times [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde}$$

$f$  – posuv na otáčku [mm],

$n$  – počet otáček vřetene [min<sup>-1</sup>].

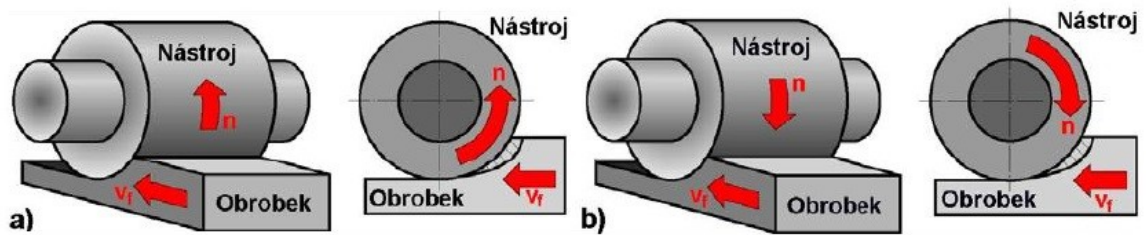
### 2.1.2 Frézování

Mezi velmi rozšířené metody obrábění patří také frézování. Jeho velkou předností je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Tato metoda se využívá pro obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obráběními závitů a ozubení.

Při frézování je tříska odebírána břity rotujícího nástroje - frézou. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je přímočarý a vykonává ho obrobek. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se



realizovat ve více směrech zároveň (víceosá obráběcí centra). Řezný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky. [10]



Obr. 16 Válcové frézování, a) nesousledné, b) sousledné [10]



Obr. 17 Nástroje pro frézování od firmy Walter [15]

### 2.1.3 Materiály řezných nástrojů

Řezné materiály (materiál břitu) rozhodujícím způsobem ovlivňují produktivitu, výrobní náklady a kvalitu výroby. Jejich význam je charakterizován náročnými požadavky, ve kterých břit nástroje pracuje. Při obrábění bývají vystaveny intenzivnímu mechanickému a tepelnému namáhání. To vede k otupování břitu, případně i k celkové destrukci. Řezný materiál musí mít proto větší tvrdost než materiál obráběný, aby mohl řezný klín vniknout do obráběného materiálu a odřezávat třísku. [13]



Pro nástroje s definovanou geometrií břitu se zpravidla používá následující rozdělení materiálů obráběcích nástrojů:

- nástrojové oceli (NO)
- spékané tvrdokovy (vyrobené práškovou metalurgií)
- slinuté karbidy (SK)
- cermety
- keramické materiály (nekovové lisované prášky)
- řezná keramika (ŘK)
- syntetické velmi tvrdé materiály
- kubický nitrid boru (KBN)
- diamant (PKD) [13]

### 2.1.3.1 Vyměnitelné břitové destičky

Vyměnitelné břitové destičky (VBD) jsou asi nejdůležitějším hromadně vyráběným konstrukčním prvkem obráběcích nástrojů. Jejich sortiment je velice rozsáhlý a je neustále doplňován novými typy. Pro snadnější orientaci a vzájemnou zaměnitelnost bylo značení nejběžnějších vyměnitelných destiček mezinárodně sjednoceno normami ISO. Tato norma je postupně doplňována o nové typy, které dosáhli většího rozšíření. Na trhu lze ale najít řadu výrobců, kteří dodávají zcela individuální typy destiček neodpovídající žádné normě. Uživatelům je tímto ovšem znemožněna náhrada destičkou jiného výrobce. Zde se budeme zabývat destičkami normalizovanými, většina uvedených zásad platí i na nenormalizované typy.



Obr. 18 Vyměnitelné břitové destičky pro obrábění ocelí, nerezových ocelí, litiny, hliníku i plastů. [18]

## 2.2 Tváření

Tváření patří mezi důležité strojírenské technologie. Má však mezi nimi výsadní postavení. Kromě tvaru výrobku, lze touto technologií výrazně ovlivňovat mikrostrukturu kovů a tím i jeho mechanické vlastnosti. K přednostem tváření patří:

- sériová až hromadná výroba
- vysoká produktivita práce
- hospodárné využití kovu
- zlepšení struktury a mechanických vlastností kovu
- zvýšená životnost součástí vyrobených tvářením
- nízká hmotnost tvářených součástí.

Rozdělení technologií tváření podle toho zda body tvářeného tělesa ležící v jednotlivých rovinách zůstanou v těchto rovinách, nebo se dostanou do jiné roviny, rozdělujeme tváření plošné (rovinné) a objemové (hutnické).

### 2.2.1 Vstřikování plastů

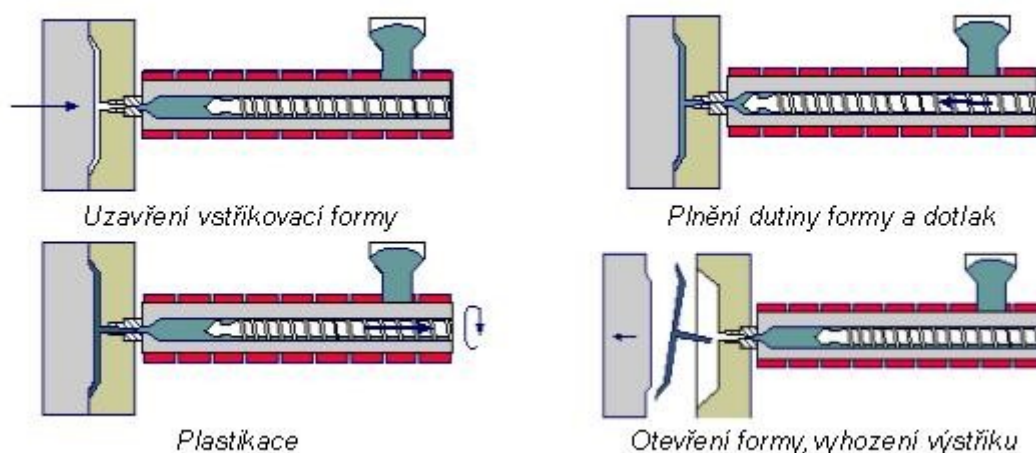
Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku, polotovaru nebo dílu pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky.

Vstřikování je způsob tváření plastů. Dávka zpracovávaného materiálu je z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy. Kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

[14]

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavící komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo. Ochlazování způsobí částečné smrštění (dle druhu vstřikovaného materiálu). Potom se forma otevře a výrobek je z formy vyhozen a celý cyklus se opakuje.

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. [14]



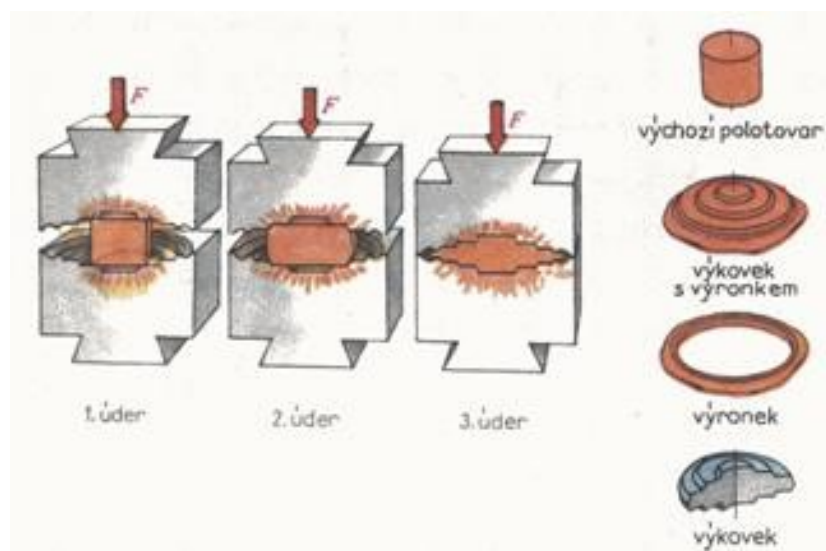
Obr. 19 Cyklus vstřikování [14]

Velké uplatnění technologie vstřikování plastů nachází především v automobilovém průmyslu, ve kterém je velká poptávka jak po technických tak i vzhledových výliscích. Doba výroby vstřikovací formy zaleží na její složitosti, která závisí na tvaru a rozměru výlisku a také na násobnosti vstřikovací formy. Doba na výrobu středně složité formy je v rozmezí 3 až 5-ti týdnů. Jako finální operací cyklu vstřikování je odebrání výlisku z formy. Po vyjetí vyhazovacího mechanismu formy může být výlisek odebrán manipulátorem. V této oblasti nacházejí v čím dál větší míře uplatnění robotizovaná pracoviště.

### 2.2.2 Zápustkové kování

Zápustkové kování slouží k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí z ocelí nebo jiných tvárných slitin. Zápustka je většinou dvoudílný nástroj. Hlavní předností zápustkového kování je vysoká výkonnost a snadná obsluha. Výkovky mají však omezené rozměry a hmotnost.

Ohřátý materiál se tváří v dutině zápustky, jejíž tvar je shodný s tvarem výkovku. Rozměry jsou však zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého výkovku. Proti volnému kování se dosahuje přesnějšího tvaru výkovku. Přesnost a jakost povrchu se dá výrazně zlepšit následným kalibrováním tak, že se nemusí již dále používat obrábění. Zápustkovým kovááním se dosahuje vysokého stupně prokování a průběh vláken sleduje obrys výkovku. Při zápustkovém kování se postupuje tak, že se výchozí polotovár, ohřátý na potřebnou kovací teplotu, vloží do dutiny zápustky a působí se na něj tlakem nebo úderem tvářecího stroje. [7]



Obr. 20 Postup kování v jednodutinové zápustce na bucharu [7]

K zápustkovému kování používáme bucharů (kování úderem) a lisů (kování klidným tlakem). Dutinu zápustky je možno zaplňovat buď vtlačováním nebo pýchováním - z čehož pýchování je lepší. Při kování na bucharěch je zápustková dutina vyplňována postupně během několika úderů beranu, při kování na lisech je výkovek zhotoven v průběhu jednoho zdvihu nebo několika zdvihů (postupová zápustka). Při konstrukci zápustkových bloků je důležitou částí řešení způsob upnutí zápustky na kovací stroj, hlavně na buchar. Rázy při kování totiž velmi snadno upevnění zápustek povolují. [7]

Pro buchary se zápustka opatřuje s úspěchem rybinou a upíná se pomocí pera a klínu. Kování na lisech - tím se rozumí obvykle kování na svislých klikových lisech, vhodné pro velké série a jednodušší tvary výkovků. Zápustky mají jiný způsob upínání než na bucharech. Upínají se pomocí stopek, šroubů a příložek. Výkovky mohou mít menší úkoso, na lise je možno použít vyhazovačů. Výkovky se často sdružují ve vícenásobných dutinách. Po vykování spolu výkovky souvisí za výronek, takže k jejich oddělení dojde po odstřižení výronku. Kovat lze též na třecích lisech. Jedná se převážně o výkovky rotačních tvarů, kovaných ve svislé poloze.

Pro složitější tvary výkovků v zásadě platí tato pravidla: v jedné dutině se nesnažíme deformovat kov v příčném i podélném směru současně, rozdělení materiálu v podélném směru provedeme dříve než ve směru příčném, tvar předkovku navrhne tak, aby při kování docházelo k posuvu částic v příčných řezech a předkovek měl rotační tvar.

Při zápustkovém kování záleží počet kovacíh dutin na tvaru výkovku, ale též na tvaru výchozího materiálu. Jen zřídka se stane, že k vykování výkovku stačí jedna dutina. Jednotlivé dutiny se často umísťují do společného bloku oceli - nástroje, což je pro práci na bucharu výhodné. Přenášení výkovku z jedné dutiny do druhé netrvá příliš dlouho, výkovek nechladne rychle. V případě složitějších tvarů je tedy nutno kovat ve více dutinách, které zajistí tečení materiálu v dutině zápustky. [7]

## 2.3 Dokončovací metody

### 2.3.1 Leštění

Leštění je jednou z dokončovacích operací s cílem zlepšit vzhled povrchu výrobků. Při leštění dochází k odstraňování povrchových nečistot a zvyšování jakosti povrchu. Nedochozí ke zvýšení tvarové a rozměrové přesnosti. Leštit můžeme ručně nebo strojně pomocí hadrového nebo plstěného kotouče upnutého v bruskách nebo za pomoci leštiček, atd. Při těchto způsobech nanášíme na hadrové kotouče lešticí pasty.

Leštění může být:

- Mechanické leštění: tvrdá brousící zrna jsou zachycena na plátně nebo papíře.
  - Chemické leštění: mechanické leštění + chemická látka.
  - Elektrochemické leštění: úběr materiálu se děje elektrochemickým rozpouštěním.
- [23]

### 2.3.2 Válečkování

Válečkováním se dokončují vnější i vnitřní, před touto úpravou obrobené plochy (většinou rotační, někdy i rovinné) metodou tváření za studena. Působící plastická deformace zahlazuje nerovnosti po předchozím obrábění a vyvolává zpevnění povrchových vrstev (zvyšuje tvrdost, pevnost a mez únavy, mění nepříznivá tahová zbytková napětí z předchozího obrábění na tlaková). Realizuje se rotujícími tvářecími prvky (válečky nebo kuličkami, někdy i soudečky), které jsou k upravovanému povrchu přitlačovány konstantní silou (statické válečkování), nebo na upravovaný povrch působí dynamickými rázy (dynamické válečkování). Vnější rotační plochy lze válečkovat na soustruzích, rotační plochy a rovinné plochy na obráběcích strojích s hlavním pohybem rotačním (frézky, frézovací centra, vyvrtávačky, atd.). [13]

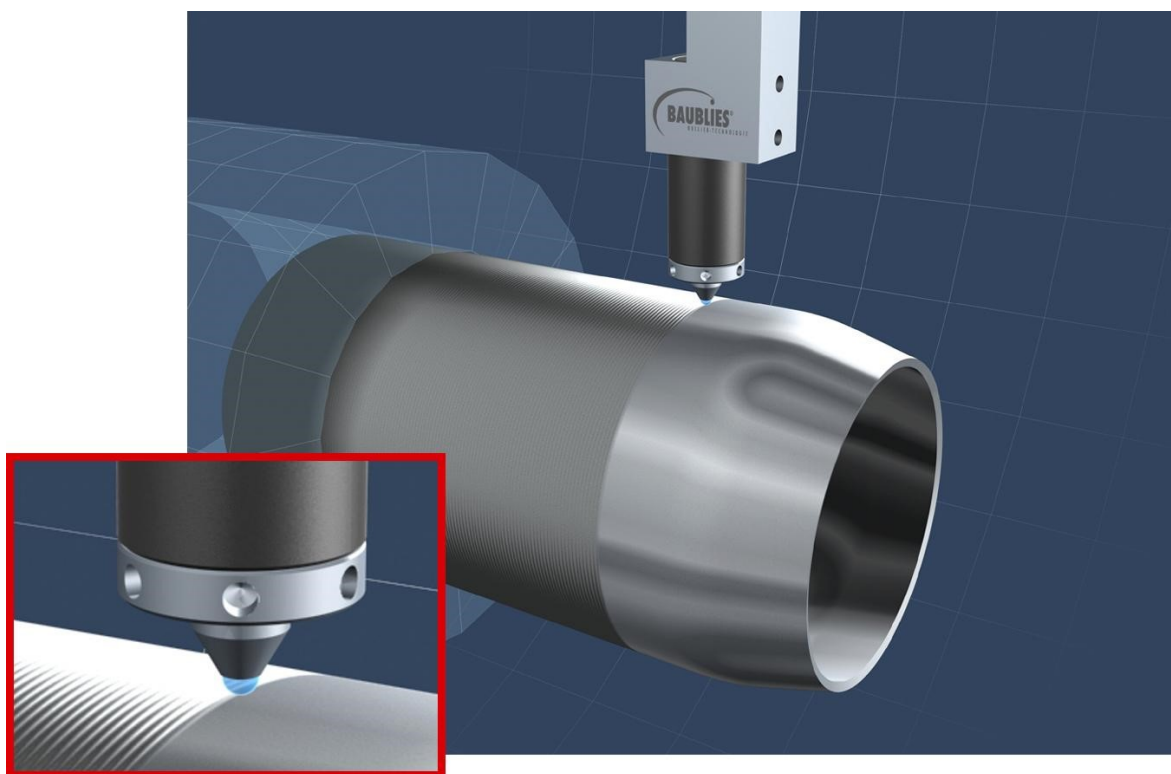
Válečkování je způsob beztržkového tváření povrchů pro dosažení hladké, tvarově přesné a otěruvzdorné plochy kovových součástí. Díky nižším nákladům oproti klasickému broušení nebo honování se válečkování řadí k velmi hospodárným metodám úprav povrchů.

Materiály po válečkování získávají především kvalitní povrch a povrchovou pevnost. Pokud bychom prováděli test pevnosti před válečkováním a po válečkování, zjistily bychom rozdíl, který je ovlivněn druhem materiálu. Zvýšení pevnosti se pohybuje od 20% do 100%.

Nejvíce se projeví u hřídelů. Při volbě technologie je nutné zvolit, zda se jedná o válečkování z důvodu úpravy povrchu nebo z důvodu zvýšení pevnosti. Je zde rozdíl v robustnosti tělesa. U šedé litiny a kaleného materiálu nelze očekávat příliš dobré výsledky po válečkování, i když ani tato technologie není vyloučena. Nástroje je nutné vždy chladit/mazat olejem nebo emulzí.

Válečky jsou unášeny a po šroubovici vtlačovány do předvrtaného nebo předsoustruženého otvoru. Hodnota Rz menší jak 1  $\mu\text{m}$ . Maximálně přesné a rychlé obrábění v sekundách. Žádný odpad, na rozdíl od broušení.

Vystružování nebo jemné soustružení. Pro dosažení optimálního výsledku leží ideální předpracovaná drsnost povrchu v rozmezí 5 -15  $\mu\text{m}$  Rz. [13]



*Obr. 21 Válečkování diamantem od firmy Baublies AG [17]*

## 2.4 Povrchové úpravy

### 2.4.1 Chromování

Je důležitou povrchovou úpravou vybraných strojních součástí. Zvyšuje podstatně životnost dílců. Jakost povlaku je závislá na volbě správného technologického postupu.

Vlastnosti povlaku:

- vysoká tvrdost (odolnost proti mechanickému opotřebení)
- nízký součinitel tření
- dobrá korozní odolnost

Tloušťka vrstvy:

- nejčastěji 10 – 30  $\mu\text{m}$
- specifické požadavky do 300  $\mu\text{m}$

Základní materiály

- ocel
- litina
- ocelolitina
- mosaz

Použití: díly pro strojírenský, textilní, automobilový a letecký průmysl. Formy pro gumárenský, plastikářský a sklářský průmysl. Renovace dílů (měřidel, hřídelí apod.) s následným broušením.

Funkční chromování (tvrdochromování), tvoří velmi širokou a rozšířenou oblast chromování, při které jsou vylučovány tvrdé a otěruvzdorné povlaky chromu. Předpokládá se jejich dobrá až vysoká korozní odolnost i v náročných provozních podmínkách. Většinou se jedná o technické vrstvy tloušťky od několika  $\mu$  do několika set  $\mu$  a jejich vyloučení trvá i řadu hodin.

Před rozhodnutím, jaký proces funkčního chromování, zda jednoduchou vrstvou nebo duplexní, je nutné zvážit, co se od procesu očekává a jaké jsou požadované vlastnosti vyloučeného povlaku. Výhodou je, že zařízení na funkční chromování, je prakticky shodné pro všechny uvažované generace lázní. S ohledem na používané vyšší proudové hustoty u lázní 3. generace, je žádoucí prověřit výkon zdroje proudu. [3]



Volba metodiky tvrdého chromování je rovněž ovlivněna požadavky na dlouhodobé umístění zařízení v provozech a náročností spojenou s jejich případnou renovací související s omezením přístupu v rámci bezpečnosti případných demontáží, náhrady a jiných servisních aktivit, které není vždy možné aplikovat v místě umístění. Tyto povlaky musí splňovat základní předepsaná kritéria kvality v návaznosti na vysoce užité vlastnosti funkční, korozní odolnosti a zabezpečovat jejich neměnnost. Některé vlastnosti povlaků chromu preferované v oblastech průmyslového využití převážně technického charakteru jsou vysoká pevnost v tlaku, nízký součinitel tření, odolnost proti opotřebení a mechanickému zatížení, případně smáčivost. Při tlakovém zatížení povrchu povlaku je důležitým předpokladem pro zajištění dostatečné odolnosti povlaku před prolomením vyloučení větší tloušťky Cr vrstvy. Hodnoty tloušťky Cr povlaků pro technické využití od korozně ochranného tenkovrstvého nanášení až po silnovrstvé povlakování v oblastech renovací v rozmezí (30 - 800)  $\mu\text{m}$ . [3]

Negativem těchto povlaků je nízká odolnost v tahu, difuze vodíku do základního materiálu během procesu chromování a jeho následná potřeba eliminace tepelným zpracováním, které nemusí být u ocelí vysokých pevností účelné a je náročné jak po stránce energetické, tak ekonomické. Snížení nebo případná eliminace výše uvedených rizik v oblasti technického tvrdého chromování bylo cílem dalšího vývoje této technologie. Výsledkem byla formulace chromovacích lázní 3. generace, za použití organického katalyzátoru. [3]

Neméně důležitou, z pohledu korozní odolnosti vyloučeného povlaku, je dodržování předepsané čistoty pracovních elektrolytů. Zbytečnou technologickou nekázní dochází ke kontaminaci chromovacích elektrolytů kovy, hlavně znečištění železem. [3]

#### **2.4.2 Technologie ARCOR**

Technologie ARCOR - CARBO-NITRO-OXIDACE. Termochemická povrchová úprava - "Nitridace v mediu iontové kapaliny" (nitridace v solné lázni s následnou oxidací). Technologie s cílem zlepšit odolnost proti opotřebení, zadření, otěru a korozi. Technologie ARCOR (nitridace v solné lázni) nabízí nejširší nabídku povrchových úprav pro součástky, které vyžadují buď jednoduché nebo kombinované třecí vlastnosti, protizáděrové chování, protikorozní odolnost a odolnost vůči únavě povrchu. Povrchové vlastnosti všech typů železných materiálů mohou být vylepšeny díky zušlechtní technologií ARCOR (ocel, litina, slinuté železné slitiny, apod.).

Technologie ARCOR je ve světě známá i pod názvy TENIFER, TUFTRIDE aj. Prostřednictvím CLIN technologie ARCOR umožňují nastavit koncentraci dusíku a kyslíku na povrchu dílců. V kombinaci s úpravou procesních parametrů jako čas a teplota (od 490 °C do 590 °C) a předchozí nebo následnou tepelnou úpravou, mohou být dosaženy specifické vlastnosti (protikorozní odolnost, protizáděrové chování,). Součástky zpracované s těmito kombinovanými úpravami vykazují vysoké podpovrchové mechanické vlastnosti společně s povrchovými vlastnostmi, odolnost vůči tření a vůči korozi.

V současné době uznávaný jako standardní povrchová úprava v automobilovém průmyslu je ARCOR se svou verzí V, zajišťující extrémní protikorozní odolnost a vynikající povrchové mechanické vlastnosti. Povrchová úprava vyvinuta tak, aby poskytla víceúčelové povrchové vlastnosti, které zvyšují odolnost proti opotřebení, zadírání a únavě materiálu protikorozní odolnost (přesahující 600 hodin podle zkoušky neutrální solnou sprchou) povrchová úprava vyhovují stále náročnějším provozním podmínkám vyžadovaným pro mechanické součástky z oceli, litin a legovaných ocelí. Povrchová úprava je založena na carbo-nitro-oxidaci, po níž následují různé další úpravy. Nabízí účinné, ekonomické řešení vyhovující předpisům ochrany životního prostředí [25]

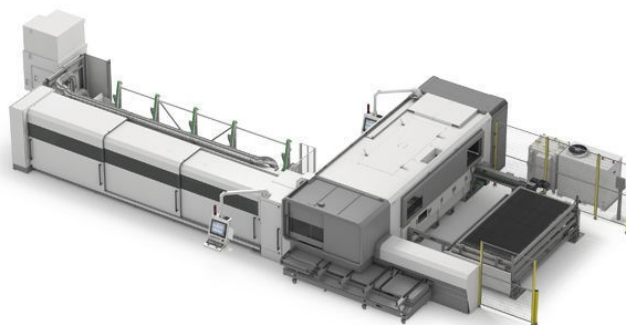
Použití: náhrada za krytí tvrdochromem, pozinkování, krytí kadmiem a niklem. Náhrada určitých druhů karbonitridace. Hydraulické součástky (kulové uzávěry, pneumatické pružiny, šoupátkové ventily, potrubí, pístnice pro hydraulické zvedáky, tlumiče otřesů, trubky). Automobilové součástky (kulové čepy, brzdové rotory, písty hmatadel, vačkové hřídele, kotouče spojek, klikové hřídele, válce, klece diferenciálu, vačky zářezek dveří, hnací hřídele, ozubená kola, ovladače převodové skříně, středovky (cívky), západky, pístní čepy, vahadla, hřebenové tyče řízení a ozubené válce, vidlice turbo plniče, armatura. Mechanické součástky (spony, čepy, kladky, hřídele, šoupátka, vřetena, magnetické spojky). Nástroje (zápustky, kovací nástroje, tvarovací nože, vstřikovací formy). [25]

### 3. Charakteristika technologického prostředí.

Tato kapitola představuje technologické prostředí ve firmě SOR Libchavy spol. s r.o. Pracoviště obrobny má dvousměnný pracovní režim.

#### 3.1 Strojní vybavení

Obrábění laserem BLM GROUP LC5 Fiber Laser Technology



*Obr. 22 BLM GROUP LC5 Fiber Laser Technology [8]*

CNC soustruh Hwacheon Hi-Tech 300 MC

CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP 280 SMC

CNC soustruh Hyundai SKT 21 LM

CNC frézka Hyundai VX 500

CNC horizontální obráběcí centrum TAJMAC H 500



*Obr. 23 CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP 280 SMC [9]*

Soustruh TOS SM16A

Soustruh TOS SUI 50

Soustruh TOS SN 40B-50B

Frézka TOS FGSV 32

Frézka TOS FA 40

Pásová pila Bianco Model 350 aut. 60°

Vydavač nářadí a nástrojů Matrix Maxi



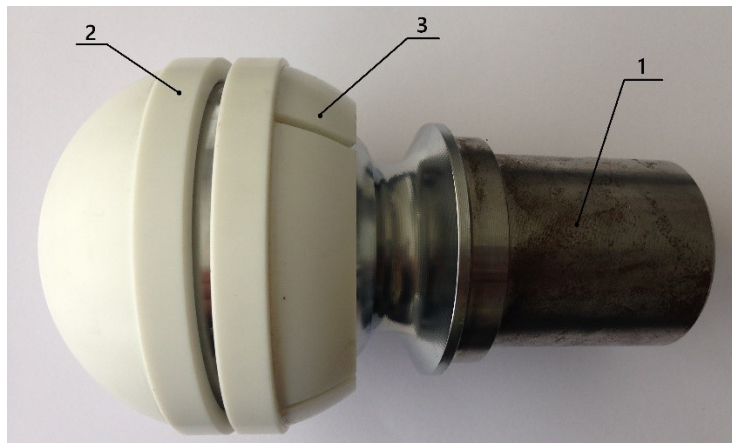
*Obr. 24 Vydavač nářadí a nástrojů Matrix Maxi [16]*

### **3.2 Softwarové vybavení**

Konstrukce autobusů je vytvářena v CAD softwaru Autodesk Inventor. K programování CNC strojů slouží CAM software GibbsCam.

## 4. Zhodnocení stávajícího stavu technologie výroby kulového kloubu.

V této kapitole se zabývám představením aktuálního stavu technologie výroby kulového kloubu. Přesněji se jedná o výrobu kulového čepu, spodní a horní pánve.



Obr. 25 Sestava řešených dílů: kulový čep (pozice 1), horní pánve (pozice 2), spodní pánve (pozice 3).

### 4.1 Technologie výroby kulového čepu

Výroba kulového čepu probíhá v několika krocích. Prvním krokem je výroba polotovaru, kterým je výkovek. Zde jsou využity technologie zápusťkového kování a následného otryskávání. Výrobu polotovaru (výkovku) zajišťuje firma peform Chrudim s.r.o. Po výstupní kontrole jsou výkovky přepraveny do firmy SOR Libchavy spol. s r.o. Kde jsou zkontrolovány před zahájením další výrobní operace, ve které dochází k třískovému řezání neboli obrábění prostřednictvím technologií soustružení a frézování. Na kulové ploše je následně povrch leštěn s cílem dosažení nižší drsnosti povrchu. Poslední technologickou operací je při výrobě kulového čepu povrchová úprava, kterou je tvrdé chromování, výroba probíhá v kooperaci ve společnosti Z-PRECIS, s. r. o.

Tab. 6 aktuální stav technologie výroby kulového čepu

Aktuální stav	Varianta
materiál	ČSN 15260
druh polotovaru	výkovek
technologie obrábění	soustružení + frézování
druh dokončovací operace	mechanické leštění
typ povrchové úpravy	tvrdé chromování

#### 4.1.1 Materiál kulového čepu

Používaným materiálem pro výrobu kulového čepu je nízkolegovaná chrom-vanadová ocel k zušlechťování 51CrV4 (označení dle ČSN 15260).

Ocel s vysokou prokalitelností pro velmi namáhané strojní díly. V zušlechtěném stavu má velmi příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu avšak oproti Cr - Mo ocelím nižší houževnatost. Vyznačuje se vysokými hodnotami meze únavy při střídavém namáhání. Je proto vhodná i pro výrobu zušlechtěných pružin. Kalí se převážně do oleje nebo do roztoků syntetických polymerů.

Tato ocel je dobře tvárná za tepla. Dobrou obrobiteľnosť má ve stavu žíhaném na měkko. Vhodné použití nachází u velmi namáhaných strojních součástí silničních motorových vozidel (čepy, pružiny, hřídele, vřetena, poloosy a pístnice).

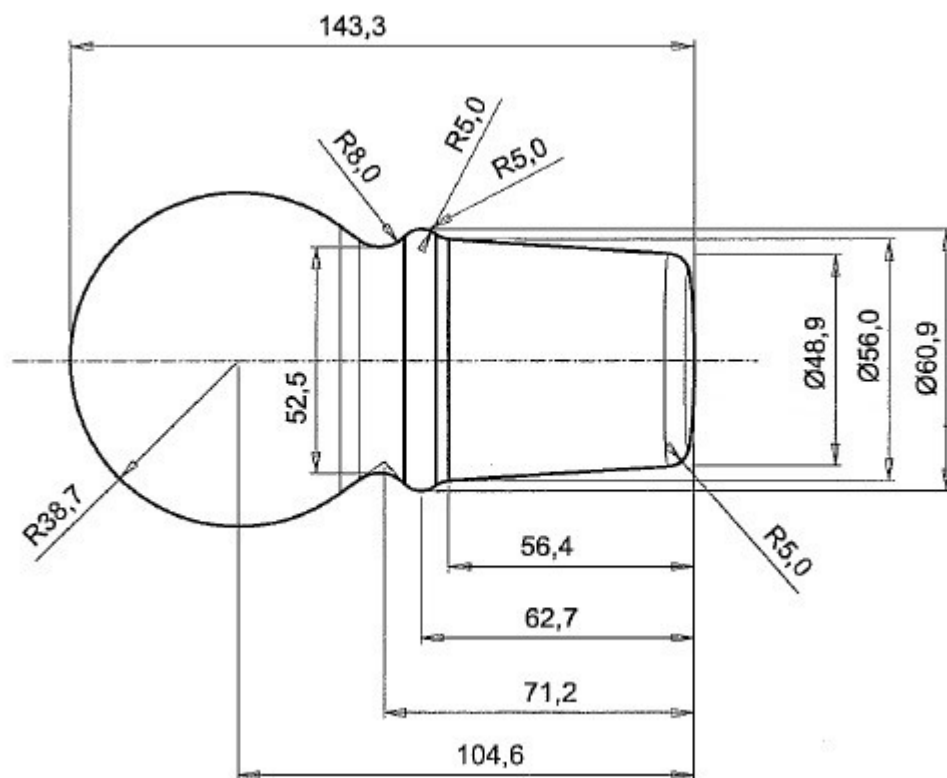
Značka oceli	Chemické složení v %											Tvrdost ve stavu	
												Žih. na měkko	Zušlechtěném
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	HB max.	HRC min.
DIN 51CrV4	0,47-0,55	0,80-1,10	0,15-0,35	0,90-1,20			0,10-0,20			0,030	0,030		
ČSN 15 260	0,47-0,55	0,70-1,00	0,15-0,40	0,90-1,20			0,10-0,20	0,30		0,035	0,035	225	300

Obr. 26 Tabulka chemického složení oceli ČSN 15 260 [4]

#### 4.1.2 Výroba polotovaru kulového čepu

Materiál pro výrobu výkovků je dodáván v rozměrech Ø 60 délka 6000 mm (pro malý kulový čep) a Ø 70 délka 6000 mm (pro velký kulový čep).

1. operace: nařezání kulatiny Ø 60 na délku 108 mm (pro malý kulový čep) a Ø 70 na délku 116 mm (pro velký kulový čep).
2. operace: příprava k procesu kování, předehřátí zápusťky na 150 až 250°C. Kontrola správné teploty předehřevu je prováděna pyrometrem.
3. operace: ohřát na kovací teplotu 1150 °C a přechovat na výšku cca 85 mm (pro malý kulový čep), přechovat na výšku cca 98 mm (pro velký kulový čep). Při kování je polotovar v zápusťce otáčen. V dalším kroku dojde k ostřížení a pomalému ochlazení.
4. operace: tryskání, označit číslem tavby a počtem kusů.
5. operace: tepelné zpracování, výkovek je zušlechtěn na 900 až 1000 MPa.
6. operace: kontrola, vystavit měřicí protokol na měřené kusy (tvrdost HB).



Obr. 27 Rozměry výkovku pro dolní kulový čep [1]

#### 4.1.2.1 Představení společnosti peform Chrudim s.r.o.

Společnost peform Chrudim s.r.o. vznikla v roce 2015. Navázala na činnost kovárny původního vlastníka firmy Komap Dědov s.r.o. Touto investicí pokračuje v Chrudimi výroba se zaměřením na tvarové zápustkové kování, volné kování, výrobu nástrojů, zápustek a přípravků, povrchové úpravy kovů, žíhání, kalení, cementování nejen pro vlastní potřebu, ale i pro externí zákazníky. Společnost peform Chrudim s.r.o. je členem holdingu pewag.



Obr. 28 Výkovek – polotovar malého kulového čepu [1]



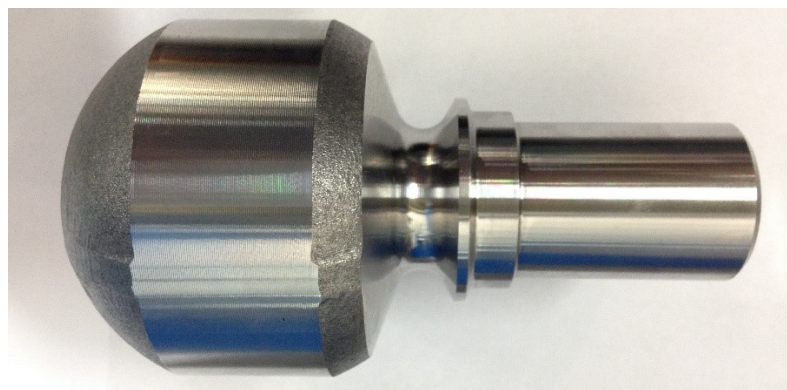
### 4.1.3 Výroba kulového čepu

1. operace: obrábění na CNC soustruhu Hwacheon Hi Tech 300 Fanuc.

- VBD ISCAR DNMG 332 GN
- seřídít stroj dle seřizovacího listu
- odladit program obrábění
- výkovek upnout do měkkých upravených čelistí za  $\varnothing 56$  mm
- zarovnat povrch výkovku na  $\varnothing 72$  mm
- odložit do palety
- zajistit kontrolu prvního kusu dílenskou kontrolou

2. operace: obrábění na CNC soustruhu Hwacheon Hi Tech 300 Fanuc.

- VBD: ISCAR DNMG 332 GN
- seřídít stroj dle seřizovacího listu
- odladit program obrábění
- výkovek upnout do měkkých upravených čelistí za  $\varnothing 72$  mm
- zarovnání čela
- hrubování vnější
- kontura vnější
- odložit do palety
- zajistit kontrolu prvního kusu dílenskou kontrolou
- v překrytém čase kontrolovat každý 4. kus výrobní dávky
- kontrolované rozměry:  $\varnothing 38$  mm  $\varnothing 45j7$ ,  $\varnothing 52$  mm,  $\varnothing 57$  mm a  $l = 48$  mm



*Obr. 29 Obrobek po 2. výrobní operaci [1]*

3. operace: obrábění na CNC soustruhu Hwacheon Hi Tech 300 Fanuc.

- VBD: WALTER VNMG332 FP5
- seřídít stroj dle seřizovacího listu
- odladit program obrábění
- výkovek upnout do měkkých upravených čelistí za  $\varnothing 45j7$



- hrubovat povrch koule na  $\varnothing 71.3$  mm
- odložit do palety
- zajistit kontrolu prvního kusu dílenskou kontrolou
- v překrytém čase kontrolovat každý 4. kus výrobní dávky
- kontrolované rozměry:  $\varnothing 71.3$  mm,  $\varnothing 38$  mm a  $l = 52$  mm, tolerance  $\pm 0.1$  mm

4. operace: Frézka TOS FA 40

- seřídít stroj dle seřizovacího listu
- frézování drážky R10
- odložit do palety
- zajistit kontrolu prvního kusu dílenskou kontrolou

5. operace: obrábění na CNC soustruhu Hwacheon Hi Tech 300 Fanuc.

- VBD: HUNGALOY VCMT160404 PS GT 9530
- seřídít stroj dle seřizovacího listu
- odladit program obrábění
- obrobek upnout do měkkých upravených čelistí za  $\varnothing 45j7$
- soustružit načisto povrch kulové plochy na  $\varnothing 70d8$
- odložit do palety
- zajistit kontrolu prvního kusu dílenskou kontrolou
- v překrytém čase kontrolovat každý 2. kus výrobní dávky
- kontrolovaný rozměry:  $\varnothing 70d8$



Obr. 30 Obrobek po 5. výrobní operaci [1]

6. operace: výrobní kooperace

- povrch kulové plochy mechanicky leštit na Ra 0,4

7. operace: zámečnické práce

- kulový čep chránit konzervačním olejem
- povrch kulové plochy chránit návlečkou
- odložit do palety

8. operace: výrobní kooperace

- plochu A upravit tvrdým chromem na Cr50
- plochu A po úpravě tvrdým chromem leštit na Ra 0,4
- plochy chráněné před povrchovou úpravou konzervovat
- z kooperace dopravit na sklad 355

9. operace: kontrola rozměrů

- kontrola rozměrů
- kontrola drsnosti povrchu
- vystavení kontrolního protokolu a jeho schválení pracovníkem
- kontrolovat minimálně 10 kusů z dávky



*Obr. 31 Hotový kulový čep včetně povrchové úpravy [1]*

#### 4.1.3.1 CNC soustruh Hwacheon Hi Tech 300 Fanuc



Obr. 32 CNC soustruh Hwacheon Hi Tech 300 Fanuc [1]

Tab. 7 Základní parametry stroje:

Technické parametry	Hodnota	Jednotka
Točný průměr přes lože	Ø 600	mm
Maximální průměr soustružení	Ø 380	mm
Točný průměr přes ložní sáně	Ø 340	mm
Standartní průměr soustružení	Ø 260	mm
Maximální délka soustružení	800	mm
Pojezd v ose X	280	mm
Pojezd v ose Z	845	mm
Počet vřeten	1	-
Maximální otáčky vřetena	3200	ot./min
Počet poloh nástrojů	12	-

## 4.2. Technologie výroby horní a dolní pánve

Výroba horní a dolní pánve neboli, děleného pouzdra pro uložení kulového čepu probíhá v kooperaci ve firmě Wolko-plast, s.r.o.

Tab. 8 aktuální stav technologie výroby misky řízení

Aktuální stav	Varianta
materiál	Zedex 100K
druh polotovaru	tyč Ø 82 mm, délka 2 000 mm
technologie obrábění	soustružení + frézování

### 4.2.1 Materiál horní a dolní pánve

Dolní i horní pánve jsou vyrobeny ze stejného materiálu, kterým je termoplastický materiál ZEDEX 100K.

ZEDEX 100 je termoplastický materiál se špičkovými kluznými vlastnostmi a širokým záběrem použití, jehož výhody vyniknou při provozu "za sucha" - bez mazání. Má nízkou míru opotřebení, vysokou zatížitelnost, dokáže dobře tlumit vibrace a do značné míry tolerovat geometrické nepřesnosti kluzné protiplochy.

ZEDEX 100K pro vysoké mechanické zatížení, polotovary (většinou tyčový materiál, případně hranoly a desky) se vyrábí protlačováním z plastizovaného granulátu přes průvlak na extrudoru s následným tepelným zpracováním. Většina sortimentu je v tomto provedení.  
[5]

### 4.2.2 Výroba horní a dolní pánve

Výroba probíhá v kooperaci ve společnosti Wolko-plast, s.r.o. Polotovar je dodáváný v Ø 82 a délce 2 000 mm. Soustružení je uskutečňováno na CNC soustruhu prostřednictvím vyměnitelné břitové destičky VCGT160404 – AK při řezné rychlosti  $v_c$  150 m/min. Pro frézování mazacích drážek je použita kulová fréza WNT s řeznou rychlostí  $v_c$  60 m/min.

#### 4.2.2.1 Představení společnosti Wolko-plast, s.r.o.

Jedná se o strojírenskou firmu se zaměřením na vývoj, poradenství a výrobu kluzných součástí z plastických hmot zejména technologií třískového obrábění, popřípadě lisováním. Na českém trhu působí od roku 1994, větší část produkce míří na export. [5]



*Obr. 33 Na levé straně hotová horní pánev a na pravé straně dolní pánev [1]*



*Obr. 34 Na levé straně hotová horní pánev a na pravé straně dolní pánev [1]*



### 4.3 Zhodnocení aktuálního stavu

Životnost takto vyráběných dílů je v nejnáročnějším prostředí z hlediska namáhání, kterým je městský provoz, cca 80 000 km. Po ujetí této vzdálenosti dochází k servisní výměně.

#### 4.3.1 Zhodnocení výroby kulového čepu

U kulového čepu vidím jako problém při stávající výrobě v dosažení požadované drsnosti povrchu na kulové ploše. Při výrobě dochází ke dvěma operacím, ve kterých je tato oblast mechanicky leštěna. Druhé leštění následuje po nanesení povlaku tvrdého chromu. Při soustružení dochází k nežádoucímu namotávání třísky v oblasti krčku (dolní kulový čep Ø 38 a R6, horní kulový čep Ø 27.35 a R5.2). Mezi další negativní parametry patří nízká životnost.

#### 4.3.2 Zhodnocení výroby horní a dolní pánve

U těchto součástí je hlavním předmětem nedostatků nízká životnost. Celková výroba je uskutečňována v kooperaci. Navrhované řešení tedy musí obsahovat i variantu pro přesun výroby do firmy SOR Libchavy spol. s r.o.



Obr. 35 Řešené díly v sestavě na pracovišti montáže. [1]

## 5. Návrh, zpracování a optimalizace nového technologického řešení.

U kulového čepu pro dosažení požadovaných parametrů uvažuji o změnách v oblastech:

- materiálu
- druhu polotovaru
- technologie obrábění
- druhu dokončovací operace
- typu povrchové úpravy

U horní a dolní pánve se jedná o návrhy změn:

- materiálu
- druhu polotovaru
- technologie obrábění

Cílem je také zajistit co největší podíl výrobních operací ve firmě SOR Libchavy spol. s r. o. Mezi mé další vize patří uplatnění některé z moderních technologií při výrobě řešených dílů.

### 5.1 Návrhy nových technologických řešení pro kulový čep

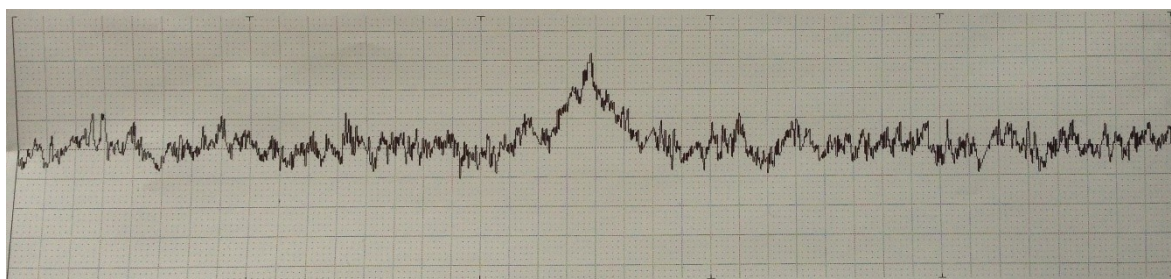
#### 5.1.1 Varianta A

Odstranění operace mechanického leštění. Požadovaná drsnost  $Ra\ 0.4\ \mu m$  dosažena již dokončovací operací při soustružení. Změna proběhla v oblasti řezných parametrů (otáčky 2600 ot./min) a vyměnitelných břitových destiček. Dokončovací třískové řezání je uskutečněno destičkou VCMT 160404 - PS od výrobce Tungaloy. Parametry nástroje posuv na otáčku:  $f = 0,08 - 0,3\ mm$ , řezná rychlost:  $v_c = 150 - 300\ m/min$ .

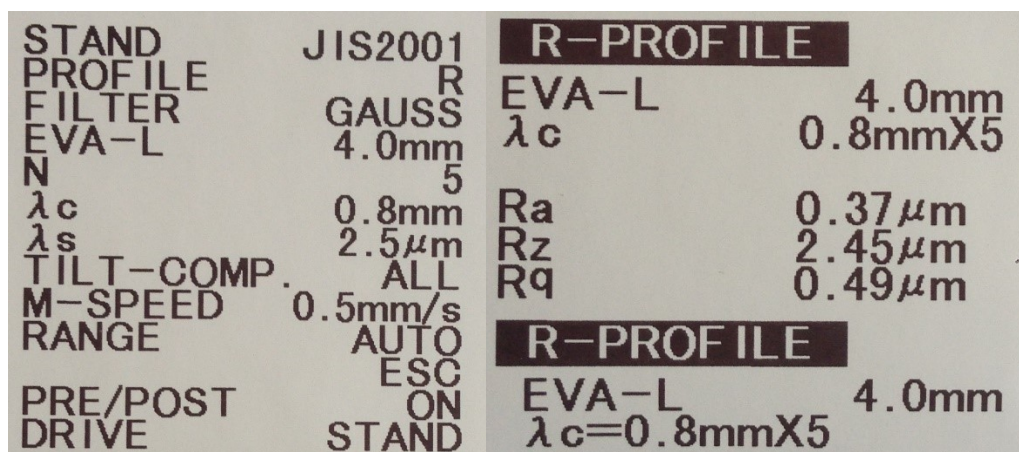


Obr. 36 Vyměnitelná břitová destička VCMT 160404 - PS od výrobce Tungaloy. [19]

V původním řešení následovalo mechanické leštění po nanesení povlaku tvrdého chromu. Řešením je změna povrchové úpravy na technologii ARCOR - CARBO-NITRO-OXIDACE. Po které je drsnost povrchu v požadované kvalitě. Není tedy zapotřebí mechanického leštění. Výsledky z měření drsnosti povrchu jsou uvedeny na obrázcích číslo 37 a 38.



Obr. 37 Výsledný graf měření drsnosti povrchu [1]



Obr. 38 Výsledky z měření drsnosti povrchu  $R_a$  = průměrná aritmetická úchylka profilu,  $R_z$  = největší výška profilu,  $R_q$  = průměrná kvadratická úchylka profilu [1]

Tab. 9. Varianta A – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	ČSN 15260	NE
druh polotovaru	výkovek	NE
technologie obrábění	soustružení a frézování	ANO
druh dokončovací operace	-	ANO
typ povrchové úpravy	ARCOR	NE

Výhody nové povrchové úpravy spočívají ve více parametrech než jen v odstranění mechanického leštění povrchu kulové části. Mezi další výhody patří: vysoké mechanické vlastnosti, dobré třecí vlastnosti, vysoká protikorozní odolnost a funkčnost drsnosti povrchu. Tloušťka výsledné vrstvy sloučenin je 15 až 17  $\mu\text{m}$ .





*Obr. 39 Horní kulový čep s povrchovou úpravou ARCOR [1]*

### 5.1.2 Varianta B

Polotovarem není výkovek ale kruhová tyč stejného materiálu a stejného zušlechtění jako výkovek. Zlepšení dochází v oblastech snížení vedlejších časů obrábění při upínání obrobku mezi jednotlivými soustružnickými operacemi. V původním řešení dochází v celkovém procesu soustružení kulového čepu ke třem upnutím obrobku do sklíčidla CNC soustruhu.

Odstranění operace mechanického leštění. Požadovaná drsnost  $Ra\ 0.4\ \mu m$  dosažena již dokončovací operací při soustružení (popsáno ve variantě A). Nová povrchová úprava – Technologie ARCOR - CARBO-NITRO-OXIDACE

Tab. 10. Varianta B – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	ČSN 15260	NE
druh polotovaru	tyč kruhová	ANO
technologie obrábění	soustružení a frézování	ANO
druh dokončovací operace	-	ANO
typ povrchové úpravy	ARCOR	ANO

### 5.1.3 Varianta C

Polotovarem je výkovek. Dokončovací operace je válečkování diamantem. Před zahájení technologie válečkování diamantem je nutné dosáhnout soustružením tvarových a rozměrových přesností dle výkresové dokumentace. Válečkování je beztržisková dokončovací metoda. Vhodná drsnost povrchu po soustružení je před válečkováním diamantem Ra 1.6  $\mu\text{m}$ , díky této hodnotě vznikne optimální prostor pro vyhlazením povrchu kulové plochy. Válečkováním dochází ke snížení výchozí výšky mikronerovností způsobených předchozí operací. Výsledkem je vyhlazený povrch s drsností povrchu až Ra 0.1  $\mu\text{m}$ . Povrchová úprava ARCOR.

Tab. 11. Varianta C – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	ČSN 15260	NE
druh polotovaru	výkovek	NE
technologie obrábění	soustružení a frézování	ANO
druh dokončovací operace	válečkování	ANO
typ povrchové úpravy	ARCOR	ANO

#### 5.1.3.1 Baublies - Diamantový nástroj pro opracování povrchů

Variabilní nástroj s odpruženým diamantovým hrotem pro opracování vnějších tvarů a hřídelů za účelem úpravy povrchu a zpevnění povrchové vrstvy, natáčecí hlava 240°, univerzální použití opracování materiálů až do 60 HRC, možnost výměny matrice, ve které je diamant uložen. Samotný diamant lze přebrousit. Rychlost opracování až 150 m/min, posuv 0,05 mm/ot, přídavek max. 0,02 mm. Důležitým předpokladem pro práci s diamantem je chlazení. Během tváření materiálu dochází ke zvýšení teploty. Vzhledem k dobré tepelné vodivosti diamantu je teplo odvedeno z povrchu zpracovávaného materiálu až po matrici, ve které je diamant uložen. Matrice má stejnou vodivost jako materiál součásti, proto dochází ke snížení odvodu tepelné energie, která se hromadí právě na přechodu z diamantu do kovové matrice. Pokud není zajištěno dostatečné chlazení diamantu, může dojít k jeho nenapravitelnému poškození. [17]

Pro válečkování kulové plochy jsou nutné 2 nástroje – pravý a levý.

Variabilní diamantový nástroj, čtyřhran 20 mm, pravé provedení, rozsah natočení 240°.

Variabilní diamantový nástroj, čtyřhran 20 mm, levé provedení, rozsah natočení 240°.

Diamant Form E, rádius 2 mm D min. 3.3 mm.

Montážní nástroj DDW pro diamant.



Obr. 40 Baublies - Diamantový nástroj pro opracování vnějších povrchů [17]

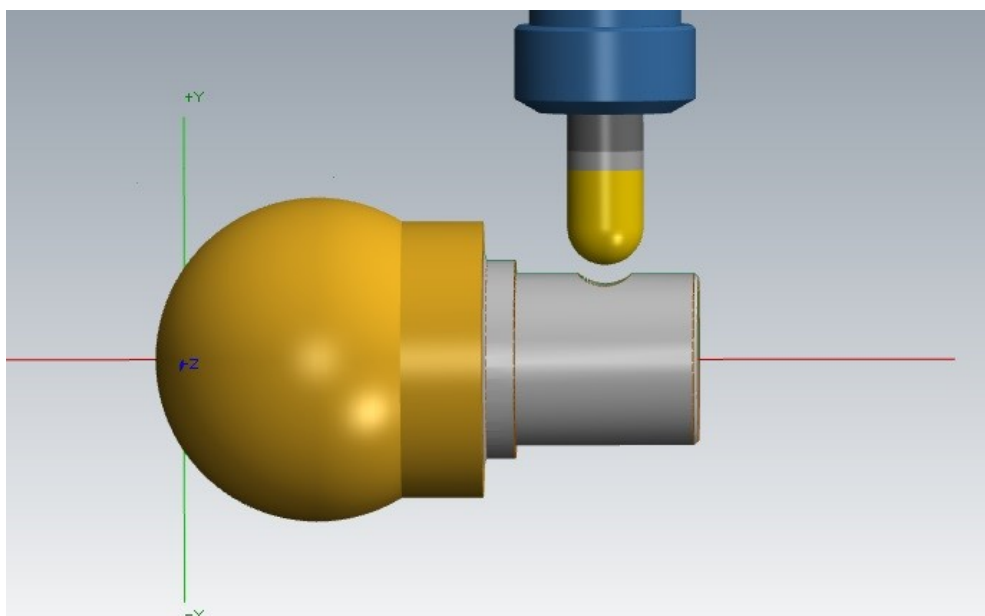
#### 5.1.4 Varianta D

Polotovarem je výkovek. Dokončovací operace je válečkování diamantem. Povrchová úprava ARCOR. V této variantě navrhuji změnu v oblasti výroby drážky (dolní kulový čep má drážku R10 a horní kulový čep má drážku R9). Ve stávajícím technologickém postupu je drážka ve 4. výrobní operaci frézována na konvenční frézce.

Moje řešení zajistí výrobu drážky již na CNC soustruhu, který je vybaven hnanými nástroji. Frézování drážky hnaným nástrojem zařazuji do 2. výrobní operace. Nástrojem je dvoubřitá kulová fréza s čelním rádiusem R10 pro dolní kulový čep a R9 pro horní kulový čep.

Tab. 12 Varianta D – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	ČSN 15260	NE
druh polotovaru	výkovek	NE
technologie obrábění	soustružení	ANO
druh dokončovací operace	válečkování	ANO
typ povrchové úpravy	ARCOR	ANO



*Obr. 41 Frézování drážky R10 hnáným nástrojem CNC soustruhu, program vytvořen v CAM softwaru Mastercam.*

### 5.1.5 Varianta E

Polotovarem je výkovek. Dokončovací operace je válečkování diamantem. Povrchová úprava ARCOR. Ve variantě D řeším problém při soustružení kulové plochy, při kterém dochází v oblasti v oblasti krčku (dolní kulový čep  $\varnothing 38$  a R6, horní kulový čep  $\varnothing 27.35$  a R5.2) k nežádoucímu namotávání třísky.

Nový utvařeč třísky FX od výrobce TaeguTec se vyznačuje vysoce pozitivní geometrií s řeznou hranou ve tvaru šroubovice, což významně snižuje řezné síly vznikající při obrábění kulových čepů, zatímco úzký tvar utvařeče a design řezné hrany ve tvaru vlny podporuje optimální odvod třísky, což zvyšuje produktivitu a zkracuje časy cyklu. [20]

Pro tuto variantu navrhuji také změnu v NC programu. V oblasti obrábění kulové plochy doporučuji využít funkce konstantní řezné rychlosti, která zajistí stejné řezné podmínky po celé dráze nástroje.



*Obr. 42 Oboustranná břitová destička VNMG s utvařečem FX [20]*

Tab. 13 Varianta E – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	ČSN 15260	NE
druh polotovaru	výkovek	ANO
technologie obrábění	soustružení	ANO
druh dokončovací operace	válečkování	ANO
typ povrchové úpravy	ARCOR	ANO

### 5.1.6 Varianta F

Polotovarem není výkovek ale kruhová tyč 42CrMo4 (ČSN 15142). Zlepšení dochází v oblastech snížení vedlejších časů obrábění při upínání obrobku mezi jednotlivými soustružnickými operacemi. V původním řešení dochází v celkovém procesu soustružení kulového čepu ke třem upnutím obrobku do sklíčidla CNC soustruhu.

Navrhovaný materiál je dodáván v zušlechtilém stavu. Do průměru 100 mm lze po zušlechtění docílit pevností nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly.

Chemické složení v hmot. % ( rozbor tavby )	C	Si max.	Mn	P max.	S max. <sup>1)</sup>	Cr	Mo
	0,38 – 0,45	max. 0,40	0,60 – 0,90	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30
Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>	0,36 – 0,47	max. 0,43	0,56 – 0,94	max. 0,030	max. 0,040	0,85 – 1,25	0,12 – 0,33

Obr. 43 Tabulka chemického složení oceli ČSN 15 142. [21]

Tab. 14 Varianta F – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	ČSN 15142	ANO
druh polotovaru	kruhová tyč	ANO
technologie obrábění	soustružení	ANO
druh dokončovací operace	válečkování	ANO
typ povrchové úpravy	ARCOR	ANO

## 5.2 Návrhy nových technologických řešení pro dolní a horní pánev

U těchto součástí již v průběhu výroby došlo ke změně. Původní technologické řešení obsahovalo výrobu dílů vstřikováním plastů. Vstřikovaným materiálem byl polokrystalický konstrukční polymer POM-H. Výlisky vykazovaly značné výrobní nepřesnosti a s tím spojené nadměrné opotřebení. Životnost těchto dílů byla cca pouze 50 000 km.

Současné řešení obráběných dílů z materiálu ZEDEX-100K nahradilo tedy sériovou výrobu lisovaných dílů z materiálu POM-H. Životnost těchto dílů je cca 80 000 km.

### 5.2.1 Varianta A

V této variantě se zabývá návrhem celkového obrábění na CNC soustruhu. Aktuální technologie výroby je rozdělena na soustružení a následný přesun obrobků na CNC frézku, kde jsou frézovány mazací drážky.

Celou technologii výroby dolní a horní pánve můžeme uskutečnit na CNC soustruhu, který je vybaven hnanými nástroji. Ušetříme tedy vedlejší výrobní časy při přesunu a upínání obrobku na CNC frézku.

Tab. 15 Varianta A – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	ZEDEX-100K	NE
druh polotovaru	kruhová tyč	NE
technologie obrábění	soustružení	ANO

### 5.2.2 Varianta B

Varianta B představuje změnu v oblasti materiálu. Novým materiálem pro výrobu dolní a horní pánve je PTFE + 40% bronz. Přidáním 40% práškového bronzu je u PTFE dosaženo podstatného zvýšení mechanické pevnosti v tlaku, odolnosti vůči tečení materiálu a zvýšení odolnosti vůči kluznému opotřebení. Tento materiál se vyznačuje vynikajícími tribologickými vlastnostmi. To umožňuje ve větší míře využívat tento materiál v konstrukci více namáhaných kluzných ložisek a vedení při vyšších kluzných rychlostech a teplotách. [5] Celé obrábění probíhá na CNC soustruhu s hnanými nástroji.

Tab. 16 Varianta B – shrnutí změn

Oblast změny	Varianta	Změna vůči aktuálnímu stavu
materiál	PTFE + 40% bronz	ANO
druh polotovaru	kruhová tyč	NE
technologie obrábění	soustružení	ANO



Obr. 44 Na levé straně nový materiál PTFE + 40% bronz. Na pravé straně horní pánev z materiálu ZEDEX 100K. [1]

## 6. Technicko-ekonomické porovnání.

Roční produkce výroby kulových čepů je cca 3700 kusů včetně náhradních dílů (údaje za rok 2015).

U kulového čepu pro dosažení požadovaných parametrů byly v diplomové práci navrženy změny, řešená oblast: použité varianty

- materiál: 51CrV4 (ČSN 15260), 42CrMo4 (ČSN 15142)
- druh polotovaru: výkovek, kruhová tyč
- technologie obrábění: nové parametry soustružení, využití hnaných nástrojů
- druh dokončovací operace: válečkování diamantem
- typ povrchové úpravy: ARCOR, DLC

Roční produkce výroby dolní a horní pánve je cca 4000 kusů včetně náhradních dílů (údaje za rok 2015).

U horní a dolní pánve se jedná o návrhy změn, řešená oblast: použité varianty

- materiál: PTFE + 40% bronz
- druh polotovaru: kruhová tyč
- technologie obrábění: nové parametry soustružení, využití hnaných nástrojů

### 6.1 Shrnutí navržených variant

Kulový čep

- Varianta A – změna v oblasti řezných parametrů a povrchové úpravě. Přínosem je odstranění mechanického leštění.
- Varianta B – změna druhu polotovaru. Přínosem je snížení vedlejších výrobních časů.
- Varianta C – změna dokončovací operace. Válečkování diamantem. Přínosem je zpevnění povrchové vrstvy.
- Varianta D – změna v oblasti technologie soustružení. Využití hnaných nástrojů. Přínosem je snížení vedlejších výrobních časů.
- Varianta E – změna vyměnitelné břitové destičky. Nový utvařec třísky. Přínosem je snížení vedlejších výrobních časů.
- Varianta F – změna materiálu. Přínosem je další možnost řešení pro efektivní výrobu soustružením.



## Dolní a horní pánev

- Varianta A – změna v oblasti technologie soustružení. Využití hnaných nástrojů. Přínosem je snížení vedlejších výrobních časů.
- Varianta B – změna materiálu. Přínosem je snížení tření a prodloužení životnosti.

Tab. 17 Porovnání materiálů dolní a horní pánve [5], [22]

	Zedex 100K	PTFE + 40% bronz	Jednotka
Měrná hmotnost	1350	3120	kg/m <sup>3</sup>
Modul pružnosti v tahu	2500	1400	N/mm <sup>2</sup>
Pevnost v tahu	65	125	N/mm <sup>2</sup>
Tažnost	60	230	%
Ohybový modul	2000	1375	N/mm <sup>2</sup>
Pevnost v tlaku	82	85	N/mm <sup>2</sup>
Součinitel tření	0,15	0,12	-

## 6.2 Měření sil řízení

Měřený autobus SOR C10 s novým uložením předních ramen (kulové čepy s miskami řízení). Kulový čep s povrchovou úpravou ARCOR a dolní a horní pánev vyrobeny z materiálu PTFE + 40% bronz.

Popis testu na volant zkoušeného autobusu se připevní speciální měřicí volant s indikátorem. Autobus najíždí do předepsaného poloměru zatáčení rychlostí dle příslušného předpisu (EHK 079 Řízení vozidel) ve stavu poruchy posilovače řízení, v tomto případě s vypnutým motorem a zařazeným stupněm N. Na indikátoru se odečítá výchylka, která se převede na sílu, potřebnou k zatočení autobusu do předepsaného rádiusu v určeném čase a ta se porovná se silou povolenou předpisem. Test se provádí zvlášť pro zatáčku pravou a levou při zatížení přední nápravy na předepsané maximum 5500 kg.

Naměřené hodnoty jsou zprůměrovány ze třech měření pro každou stranu. Výsledky: vpravo: 40 kg, vlevo: 38 kg. Maximální přípustná síla 45 kg.

Kombinace navrhnutých řešení pro kulový čep, horní a dolní pánev prokázala snížení potřebné síly, dle předpisu (EHK 079 Řízení vozidel). Zkušebna doporučuje ponechat na autobuse upravenou sadu uložení a opakovat měření po nájezdu 100, 250 a 500 000 km pro ověření životnosti povrchové vrstvy na kulovém čepu v interakci s novým materiálem dolní a horní pánve.

## 7. Závěr

V diplomové práci jsem představil technologické prostředí společnosti SOR Libchavy spol. s r.o. a jejich dodavatelů v oblasti výroby kulového čepu, dolní a horní pánve. Z charakteristiky stávajícího technologického řešení výroby vyplynuly problémy, které jsem se svými návrhy řešení snažil odstranit. Pro splnění cílů byly navrženy změny v oblasti materiálů, obrábění, dokončovacích operací a také povrchových úprav.

Kombinace navržených řešení: kulový čep s novou povrchovou úpravou ARCOR VP7 a dolní a horní pánev z nového materiálu PTFE + 40% bronz. Díly s těmito změnami jsou již testovány v provozu. Změny byly vytvořeny z důvodu zvýšení životnosti daných součástí z aktuálních 80 000 km na alespoň 100 000 km. Aktuálně má testovací autobus najeto 40 000 km. Zlepšení bylo také zjištěno při měření sil řízení.

Nejlepší kombinací navržených změn z hlediska efektivnosti výroby uvádím: Polotovarem kruhová tyč materiálu 51CrV4 (ČSN 15260) nebo 42CrMo4 (ČSN 15142). Soustružení na CNC soustruhu s hnanými nástroji. Břitovou destičkou pro obrábění kulové plochy je VNMG s utvařečem FX od výrobce TaeguTec. Dokončovací operací je válečkování diamantem. Povrchová úprava ARCOR VP7.

Nejlepší kombinací navržených změn z hlediska dosažení vyšší životnosti a bezpečnosti autobusu v nejnáročnějším provozu tedy městském, uvádím: Polotovarem je výkovek z materiálu 51CrV4 (ČSN 15260). Soustružení na CNC soustruhu s hnanými nástroji. Břitovou destičkou pro obrábění kulové plochy je VNMG s utvařečem FX od výrobce TaeguTec. Dokončovací operací je válečkování diamantem. Povrchová úprava ARCOR VP7. Výkovek má oproti kruhové tyči lepší mechanické vlastnosti. Tvar vláken kopíruje obrys kulového čepu, z čehož vyplývá jeho vyšší pevnost.

Nejlepší kombinací navržených změn z hlediska dosažení vyšší životnosti a efektivnosti výroby dolní a horní pánve, uvádím: Polotovarem je kruhová tyč materiálu PTFE + 40% bronz. Soustružení na CNC soustruhu s hnanými nástroji.

Doporučuji ve zlepšování pokračovat. Testováním nových materiálů a povrchových úprav s cílem zvýšení životnosti a snížení tření v oblasti stykových ploch řešených dílů. Obdobné postupy mohou být uplatněny pro zlepšení dalších součástí autobusu.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SOR Libchavy spol. s r.o. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.sor.cz>
- [2] EP INDUSTRIES, a.s. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.epindustries.cz>
- [3] Komap Dědov s.r.o. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.komap.cz/>
- [4] JKZ Bučovice, a.s. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz>
- [5] Wolko-plast, s.r.o. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.wolkoplast.cz>
- [6] Wolf Kunststoff-Gleitlager GmbH [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.zedex.de>
- [7] LENFELD Petr, *Technologie II Část I - Tváření kovů*, Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z <http://www.ksp.tul.cz>
- [8] BLM S.P.A. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.blmgroupp.com>
- [9] KOVOSVIT MAS, a. s. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/>
- [10] BRYCHTA Josef, Marek SADÍLEK, Robert ČEP, Lenka POTŘKOVSKÁ a Jana NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [11] BRYCHTA Josef, Marek SADÍLEK, Robert ČEP a Jana PETRŮ. *Progresivní metody v obrábění: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 146 s. ISBN 978-80-248-2513-7.
- [12] ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1507-7.
- [13] ČEP Robert, BRYCHTA Josef, NOVÁKOVÁ Jana, PETŘKOVSKÁ Lenka. *Technologie II - 2. díl*
- [14] LENFELD Petr, *Technologie II Část II - Vstřikování plastů*, Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z <http://www.ksp.tul.cz>
- [15] Walter CZ s.r.o. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.walter-tools.com/>

- [16] CTMS HQ [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.ctms-imc.com>
- [17] ALBA precision, spol. s r.o. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [www.albaprecision.cz/](http://www.albaprecision.cz/)
- [18] TOREX CZ s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.nastrojetorex.cz/>
- [19] Tungaloy Corporation [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://www.tungaloy.com/>
- [20] MM publishing, s. r. o. Nový utvařec optimalizuje obrábění kulových čepů a řemenic [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/novy-utvarec-optimalizuje-obrabeni-kulovych-cepu-a-remenic.html>
- [21] Bohdan Bolzano s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/>
- [22] TechPlasty, s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.techplasty.cz/>
- [23 ] Ústav konstruování - FSI VUT Brno, *Struktura povrchu* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: [http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura\\_povrchu\\_vybranych\\_technologii\\_obrabeni.pdf](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura_povrchu_vybranych_technologii_obrabeni.pdf)
- [24] MM publishing, s. r. o. Použití DLC povlaků (nejen) v automobilovém průmyslu [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-dlc-povlaku-nejen-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [25] Katring Plus s.r.o. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: [www.katringplus.cz/](http://www.katringplus.cz/)

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
μm		mikrometr
VBD		vyměnitelná břitová destička
PD		polykrystalický diamant
Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
Rz	[μm]	největší výška profilu
Rq	[μm]	průměrná kvadratická úchylka profilu
MPa		Megapascal
HB		tvrdost podle Brinella
HRC		tvrdost podle Rockwella
Cr		Chrom
Mn		Mangan
Mo		Molybden
C		Uhlík
Si		Křemík
mm		milimetr
CNC		Computer Numerical Controlled
CAD		Computer Aided Design
CAM		Computer Aided Manufacturing
spol s r.o.		společnost s ručením omezeným
a.s.		akciová společnost
AG		Aktiengesellschaft
kg		kilogram
NC		Numerical Control
km		kilometr
ot/min		otáčky za minutu
kW		kilowatt
m/min		metr za minutu
Ø		průměr
SK		slinutý karbid
°C		stupeň Celsia
Vc	[m.min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost
n	[min <sup>-1</sup> ].	počet otáček vřetene
D	[mm]	průměr obráběné plochy při soustružení
%		procento

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1: Výkres dolního kulového čepu [1]

Příloha 2: Výkres horního kulového čepu [1]

Příloha 3: Výkres dolní pánve [1]

Příloha 4: Výkres horní pánve [1]